



TUGAS AKHIR - MO141326

# **ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR PONDASI WINCH ROLLER STREAMER PADA KAPAL SURVEI SEISMIK**

ADAM WISNU WARDANA

NRP. 4311100083

Dosen Pembimbing :

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

2016



FINAL PROJECT - MO141326

# **STRUCTURE STRENGTH ANALYSIS OF FOUNDATION WINCH ROLLER STREAMER ON SEISMIC SURVEY VESSEL**

ADAM WISNU WARDANA

NRP. 4311100083

Supervisors :

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

DEPARTMEN OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

2016

# ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR PONDASI WINCH ROLLER STREAMER PADA KAPAL SURVEI SESMIK

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Adam Wisnu Wardana**

NRP. 4312100083

Disetujui oleh:

- 
1. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)
  2. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. (Pembimbing 2)
  3. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Penguji 1)
  4. Ir. J. J. Soedjono M.Sc. (Penguji 2)

SURABAYA, JULI 2016

# **ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR PONDASI WINCH ROLLER STREAMER PADA KAPAL SURVEI SESMIK**

Nama Mahasiswa : Adam Wisnu Wardana  
NRP : 4312100083  
Jurusan : Teknik Kelautan  
Dosen Pembimbing : Ir. Handayanu, M.Sc, Ph.D  
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

## **ABSTRAK**

Dalam proses eksplorasi migas diperlukan survei seismik untuk mengetahui posisi kandungan migas potensial sehingga menghemat tenaga, waktu dan biaya operasi. Dalam proses survei seismik, kapal seismik menarik berbagai macam peralatan seismik yang terbentang diatas laut dengan kecepatan laju 5 knot. Interaksi hidrodinamis antara peralatan seismik dengan kondisi lingkungan menyebabkan gaya tarik terhadap peralatan *deck*. Gaya tarik yang muncul ini terhubung pada *roller streamer* yang ditahan oleh sepasang pilar dan *girder* penahan dan dihubungkan ke *main deck* menggunakan pondasi berupa *bracket*. Untuk mendapatkan gaya tarik *streamer* maka dilakukan analisis dengan memasukkan berbagai parameter seperti *response amplitude operator* (RAO), konfigurasi operasi survei, dan juga kondisi lingkungan. Gaya tarik terbesar timbul pada arah pembebanan *head seas* (180°) yaitu pada *line streamer* no 4 sebesar 437.71 KN. Kemudian gaya tarik yang didapat digunakan untuk pembebanan pada konstruksi *winch roller streamer*. Pada tahap akhir dilakukan analisis lokal pada struktur pondasi *bracket* untuk mendapatkan tegangan von mises maksimum dan deformasi yang terjadi. Hasil dari analisis ini didapatkan tegangan von mises maksimum 44.312 MPa dan deformasi sebesar 0.06 mm pada pondasi *bracket*. Setelah didapat nilai tegangan yang terjadi kemudian dilakukan pengecekan kekuatan terhadap *yield strength* materialnya. Kriteria aman diambil dari DNV yakni dengan menambahkan load design factor sebesar 1.1 dari tegangan yang terjadi. Berdasarkan kriteria tersebut dapat dikatakan bahwa struktur pondasi *bracket* dari *winch roller streamer* aman atau kuat saat beroperasi.

**Kata kunci:** Streamer, Survei seismik, Winch roller

# **STRUCTURE STRENGTH ANALYSIS OF FOUNDATION WINCH ROLLER STREAMER ON SEISMIC SURVEY VESSEL**

Name : Adam Wisnu Wardana  
Reg. Number : 4312100083  
Department : Teknik Kelautan  
Supervisors : Ir. Handayanu, M.Sc,Ph.D  
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

## **ABSTRACT**

In the process of oil and gas exploration, seismic survey is required to determine the position of a potential oil and gas content, so it saves labor, time and operating costs. In the process of seismic surveys, seismic vessel tow a wide range of seismic equipment laying on water sea level with 5 knots speed. Hydrodynamic interactions between seismic equipment and environmental conditions cause tension on deck equipment. Tension arising relies on a roller streamer holded by a couple of coloum and girder connected to the main deck to the structure of the foundation in the form of a bracket. To get the tension streamer, then an analysis should be performed by entering various parameters such as Response Amplitude Operator (RAO), the configuration of survey operation, and the environmental conditions. The maximum tension arises in the direction of loading head seas (180°) on line streamer no 4, 437.71 KN. Tension from previous analysis used for loading condition on winch roller streamer structure. In the final stages performed a local analysis on the winch roller streamer to get the maximum von mises stress and deformation. The results of this analysis is maximum von mises 44.312 MPa at bracket foundation and deformation 0.36 mm at the top of roller. A strength check of structure is performed against the yield strength. Safety criteria taken from DNV by adding load factor of 1.1 from the actual stress. According to these criteria can be said that the foundation structure winch roller streamer safe or strong during operation.

**Keywords:** Streamer, Survey seismic, Winch roller

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas rahmat, syafaat, dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Kekuatan Struktur Winch Roller Streamer Kapal Survei Seismik**” selama kurang lebih 6 (enam) bulan ini dengan baik.

Tugas Akhir yang penulis lakukan ini banyak membawa manfaat dan pemahaman lebih dalam bagi penulis terutama dalam bidang hydro-structure. Selain logika dasar, penulis juga memperoleh pengetahuan praktikal dalam fabrikasi sebuah kapal. Bukan hanya itu, penulis juga memperoleh pengetahuan baru dalam menggunakan software-software yang digunakan selama pengerjaan tugas akhir.

Demikian laporan ini disusun, penulis menyadari bahwa laporan hasil Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak untuk kesempurnaan pembuatan laporan selanjutnya . Semoga laporan ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis sendiri dan umumnya bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 15 Juli 2016

Adam Wisnu Wardana

## UCAPAN TERIMA KASIH

Laporan tugas akhir (TA) ini merupakan tugas yang harus diselesaikan setelah melaksanakan pengerjaan tugas akhir. Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini karena bimbingan, bantuan, serta kebaikan dari semua pihak yang terkait di dalam pengerjaan tugas akhir dan juga pembuatan laporan ini. Suksesnya tugas akhir yang penulis kerjakan tak lepas dari dukungan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu mendoakan yang terbaik untuk penulis.
2. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D dan Ir. Mas Murtedjo, M.Eng selaku dosen pembimbing Tugas Akhir. Terima kasih atas ilmu dan bimbingan yang Bapak berikan.
3. Pimpinan dan karyawan PT Citra Mas khususnya Mas Yudha, Mas Bagus, dan Mas Rahmat yang telah membantu penulis dalam pengumpulan data dan pengerjaan analisis.
4. Rekan-rekan sesama bimbingan tugas akhir yang selalu menyampaikan informasi waktu dan lokasi asistensi.
5. Teman-teman angkatan 2012, Varuna, yang selalu sedia setiap saat menjadi teman diskusi dan tukar pikiran dalam proses pengerjaan tugas akhir ini

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Kapal Survei Seismik .....	8
2.2.2 Peralatan Survei Seismik .....	9
2.2.3 Lines plan.....	13
2.2.4 Hidrostatik dan Bonjean.....	14
2.2.5 Teori Gerak Kapal .....	14
2.2.5.1 Gerakan Roll Murni .....	15



2.2.5.2 Gerakan Pitch Murni.....	17
2.2.5.3 Gerakan Heave Murni.....	20
2.2.5.4 Gerakan Surge Murni.....	21
2.2.5.5 Gerakan Sway Murni .....	23
2.2.5.6 Gerakan Yaw Murni .....	24
2.2.5.7 Gerakan <i>Couple six degree of freedom</i> .....	26
2.2.6 Perilaku Bangunan Apung Pada Gelombang Reguler.....	27
2.2.6.1 Gelombang Reguler .....	27
2.2.6.2 <i>Respon Amplitudu Operator (RAO)</i> .....	31
2.2.7 Perilaku Bangunan Apung Pada Gelombang Acak .....	34
2.2.7.1 Spektrum Gelombang .....	34
2.2.7.2 Spektra Respon Bangunan Apung .....	35
2.2.8 Tegangan Kabel yang Ditarik.....	36
2.2.9 Tegangan normal .....	38
2.2.10 Tegangan geser .....	39
2.2.11 Tegangan von mises .....	40
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>43</b>
3.1 Metode Penelitian.....	43
3.2 Pengumpulan Data .....	46
3.2.1 Data Struktur.....	46
3.2.2 Data Lingkungan .....	46
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
4.1 Permodelan Struktur.....	49
4.2 Lines plan .....	50
4.3 Hidrostatik .....	51

4.4 Analisis Gerakan Kapal.....	52
4.4.1 <i>Response Amplitude Operator</i> kecepatan 0 knot (diam) .....	53
4.4.2 <i>Response Amplitude Operator</i> kecepatan 5 knot.....	58
4.5 Permodelan Peralatan Operasi Survei Seismik .....	63
4.6 Analisis Gerakan Kapal Kondisi Operasi Survei Seismik .....	66
4.7 Analisis Gaya Tarik Streamer .....	70
4.8 Permodelan konstruksi Winch Roller Streamer .....	72
4.9 Analisis Kekuatan Pondasi Bracket .....	75
4.9.1 Kondisi Batas.....	75
4.9.2 Pembebanan .....	76
4.9.3 Meshing .....	77
4.9.4 Tegangan dan Deformasi.....	80
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>83</b>
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	84
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>xvi</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kapal survei Geomarin III.....	2
Gambar 1.2 Ilustrasi operasional kapal survei seismik.....	2
Gambar 1.3 Konstruksi winch roller streamer .....	3
Gambar 2.1 Kapal survei seismik polarcus.....	7
Gambar 2.2 Sonar Streamer .....	8
Gambar 2.3 Streamer Airgun .....	8
Gambar 2.4 Perangkat airgun kapal survei seismik .....	9
Gambar 2.5 Pelampung untuk airgun.....	10
Gambar 2.6 sesimik cable control atau tail buoy .....	10
Gambar 2.7 Barovane.....	10
Gambar 2.8 gerakan 6 Degree of Freedom sebuah kapal .....	12
Gambar 2.9 Ilustrasi gerakan rolling.....	13
Gambar 2.10 Ilustrasi gerakan pitching .....	15
Gambar 2.11 Ilustrasi gerakan heaving.....	17
Gambar 2.12 Ilustrasi gerakan surge.....	18
Gambar 2.13 Ilustrasi gerakan swaying .....	20
Gambar 2.14 Ilustrasi gerakan yawing .....	21
Gambar 2.15 koefisien drag untuk berbagai macam bentuk geometri benda .....	27
Gambar 2.16 Bentuk Umum Grafik Respons Gerakan Bangunan Apung.....	28
Gambar 2.17 Transformasi Spektra Gelombang menjadi Spektra Respon .....	31
Gambar 2.18 geometri dari kapal yang menarik kabel .....	32
Gambar 2.19 perubahan linier dari silinder yang ditarik .....	32
Gambar 2.20 gaya yang bekerja pada elemen panjang $\partial x$ .....	32
Gambar 2.21 ilustrasi tegangan aksial .....	34
Gambar 2.22 ilustrasi tegangan bending.....	34
Gambar 2.23 ilustrasi tegangan geser .....	35
Gambar 2.24 6 komponen tegangan pada suatu penampang 3 dimensi .....	35
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir .....	38

Gambar 4.1 General arrangement Geomarin IV .....	41
Gambar 4.2 Permodelan Geomarin IV pada maxsurf modeler.....	42
Gambar 4.3 Lines plan Geomarin IV .....	42
Gambar 4.4 Arah gelombang datang relatif terhadap sumbu kordinat .....	44
Gambar 4.5 Grafik RAO translasional kecepatan 0 knot dan heading 180° .....	45
Gambar 4.6 Grafik RAO rotasional kecepatan 0 knot dan heading 180° .....	46
Gambar 4.7 Grafik RAO translasional kecepatan 0 knot dan heading 90° .....	46
Gambar 4.8 Grafik RAO rotasional kecepatan 0 knot dan heading 90° .....	47
Gambar 4.9 Grafik RAO translasional kecepatan 0 knot dan heading 0° .....	48
Gambar 4.10 Grafik RAO rotasional kecepatan 0 knot dan heading 0° .....	48
Gambar 4.11 Grafik RAO translasional kecepatan 5 knot dan heading 180° .....	50
Gambar 4.12 Grafik RAO rotasional kecepatan 5 knot dan heading 180° .....	50
Gambar 4.13 Grafik RAO translasional kecepatan 5 knot dan heading 90° .....	51
Gambar 4.14 Grafik RAO rotasional kecepatan 5 knot dan heading 90° .....	52
Gambar 4.15 Grafik RAO translasional kecepatan 5 knot dan heading 0° .....	52
Gambar 4.16 Grafik RAO rotasional kecepatan 5 knot dan heading 0° .....	53
Gambar 4.17 Sketsa konfigurasi peralatan survei seismik .....	55
Gambar 4.18 Tampak atas permodelan perangkat survei seismik beserta kapal .....	56
Gambar 4.19 Tampak samping permodelan perangkat survei seismik beserta kapal .....	56
Gambar 4.20 Tampak 3D permodelan perangkat survei seismik beserta kapal .....	57
Gambar 4.21 Grafik RAO translasional kondisi operasi survei seismik dan heading 180° .....	57
Gambar 4.22 Grafik RAO rotasional kondisi operasi survei seismik dan heading 180° .....	58
Gambar 4.23 Grafik RAO translasional kondisi operasi survei seismik dan heading 90° .....	59
Gambar 4.24 Grafik RAO rotasional kondisi operasi survei seismik dan heading 90° .....	59
Gambar 4.25 Grafik RAO rotasional kondisi operasi survei seismik dan heading 0° .....	60
Gambar 4.26 Grafik RAO rotasional kondisi operasi survei seismik dan heading 0° .....	61

Gambar 4.27 General arrangement konstruksi winch roller streamer tampak samping .....	63
Gambar 4.28 General arrangement konstruksi winch roller streamer tampak atas ....	64
Gambar 4.29 Detail 2D konstruksi winch roller streamer tampak samping .....	64
Gambar 4.30 Detail 2D konstruksi winch roller streamer tampak atas .....	65
Gambar 4.31 Gambar 2D struktur pondasi bracket .....	65
Gambar 4.32 Model 3D konstruksi winch roller streamer .....	65
Gambar 4.33 Model 3D konstruksi winch roller streamer dan struktur main deck ....	66
Gambar 4.34 Penjelasan kondisi batas model 3D konstruksi winch roller streamer ..	67
Gambar 4.35 Ilustrasi kondisi pembebanan pada roller .....	67
Gambar 4.36 Hasil meshing model 3D .....	68
Gambar 4.35 Grafik meshing sensitivity pembebanan line streamer 1&2 .....	69
Gambar 4.37 Grafik meshing sensitivity pembebanan line streamer 3&4 .....	70
Gambar 4.38 Tegangan von mises pada konstruksi winch roller streamer .....	71
Gambar 4.39 Detail Tegangan von mises maksimum pada pondasi bracket .....	71
Gambar 4.40 Lokasi tegangan pondasi bracket saat di perbesar .....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Formula mencari amplitudu dan tinggi Gelombang pada Spektrum .....	30
Tabel 3.1 Data utama struktur Geomarin IV .....	40
Tabel 3.2 Data lingkungan laut Arafuru .....	40
Tabel 4.2 Data validasi karakteristik hidrostatik model Geomarin IV .....	43
Tabel 4.3 Titik berat Geomarin IV .....	44
Tabel 4.4 Nilai Maksimum RAO dengan Kecepatan 0 knot .....	49
Tabel 4.5 Nilai Maksimum RAO dengan Kecepatan melaju 5 knot.....	53
Tabel 4.6 data kabel streamer.....	55
Tabel 4.7 Spesifikasi Dilt float, tail buoy, dan airgun .....	55
Tabel 4.8 spesifikasi Barovane .....	56
Tabel 4.9 Nilai Maksimum RAO Pada Kondisi operasi survei seismik.....	61
Tabel 4.10 Nilai gaya tarik line streamer pada masing-masing arah datang gelombang .....	62
Tabel 4.11 meshing sensivity untuk pembebanan line 1&2 .....	68
Tabel 4.12 meshing sensivity untuk pembebanan line 3&4 .....	69

## DAFTAR SINGKATAN

AP	: <i>After Perpendicular</i>
BML	: <i>Longitudinal Metacentre to Centre of Buoyancy</i>
DNV	: <i>Det Norske Veritas</i>
ESDM	: <i>Energi dan Sumber Daya Mineral</i>
FP	: <i>Fore Perpendicular</i>
GML	: <i>Longitudinal Metacentre to Centre of Gravity</i>
GMT	: <i>Transversal Metacentre to Centre of Gravity</i>
IACS	: <i>International Association Classification Societies</i>
ITTC	: <i>Internatioan Towing Tank Conference</i>
ISSC	: <i>International Ships and Offshore Structures Congress</i>
JONSWAP	: <i>Joint North Sea Wave Project</i>
KML	: <i>Longitudinal Metacentre to Keel</i>
KB	: <i>Keel to Centre of Bouyancy</i>
KMT	: <i>Transversal Metacentre to Keel</i>
LCB	: <i>Longitudinal Centre of Bouyancy</i>
LCG	: <i>Longitudinal Centre of Gravity</i>
LCF	: <i>Longitudinal Centre of Flotation</i>
Loa	: <i>Length Over All</i>
Lpp	: <i>Length Between Perpendicular</i>
RAO	: <i>Response Amplitude Operator</i>
UNOLS	: <i>University National Oceanographic Laboratory System</i>
VCG	: <i>Vertical Centre of Gravity</i>
WPA	: <i>Water Plane Area</i>

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Kegiatan explorasi minyak dan gas di lepas pantai selalu didahului dengan kegiatan survei seismik menggunakan sebuah kapal survei / riset. Survei seismik digunakan oleh industri migas untuk mengumpulkan data geoteknik di permukaan dan bawah dasar laut. Data geoteknik yang terkumpul akan digunakan untuk membuat gambar detail dari berbagai macam tipe batuan yang ada di bawah dasar laut beserta lokasinya. Gambar detail tadi nantinya akan divisualisasikan dalam bentuk 2D ataupun 3D. Seluruh informasi tersebut diolah dan akan digunakan untuk menentukan lokasi reservoir serta jumlah minyak dan gas yang terkandung didalamnya. Informasi data seismik ini membuat perencanaan kegiatan explorasi minyak dan gas akan lebih cepat dan akurat sehingga dapat mengurangi percobaan pengeboran di lokasi yang belum diketahui secara pasti kandungan minyak dan gasnya. Efisiensi dalam kegiatan explorasi akan mengurangi dampak buruk yang akan terjadi pada lingkungan.

Pemerintah melalui kementerian energi dan sumber daya mineral (ESDM) pada tahun 2008 telah membuat kapal reasearch dan survei hidro-oceanografi dengan nama Geomarin III. Selain mengumpulkan data hidro-oceanografi, Geomarin III juga mampu melakukan survei seismik karena juga dilengkapi dengan peralatan survei seismik, namun kapal ini memiliki keterbatasan dalam melakukan survei seismik karena hanya memiliki panjang *streamer* 1000 meter saja sehingga dirasa akan sangat kurang efektif sekali dalam melakukan survei kandungan minyak dan gas di dasar laut melalui survei seismik. Oleh karena itu pada tahun 2016 ini kementerian ESDM kembali akan membuat kapal survei yang khusus untuk melakukan kegiatan survei seismik saja dengan nama Geomarin IV. Geomarin IV direncanakan akan memiliki peralatan riset seismik dengan panjang total kabel *streamer*  $\pm 12000$  meter yang lebih panjang dari Geomarin III. Dengan *streamer* sepanjang itu diharapkan kinerja dari Geomarin IV akan lebih cepat, efektif, dan efisien dalam melakukan survei seismik dan meneliti kandungan minyak dan gas

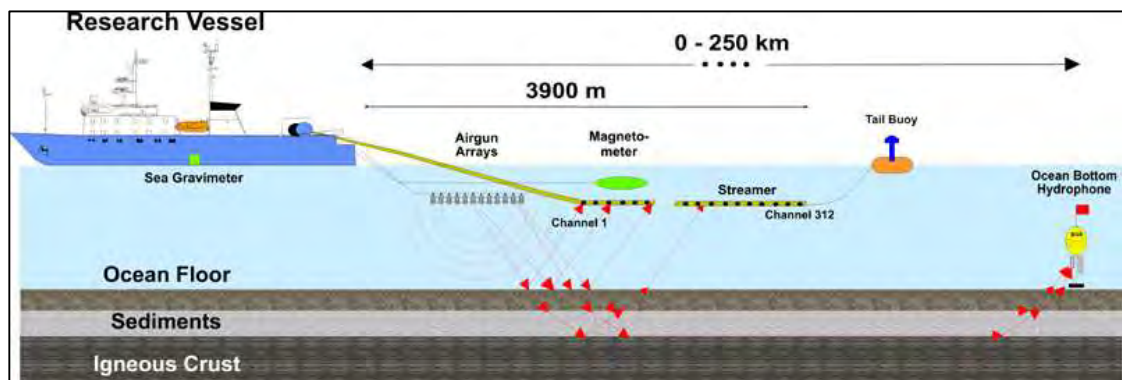


yang ada di dasar perairan laut Indonesia. Pada berikut ini gambar 1.1 adalah foto kapal survei Geomarin III yang terlebih dahulu dimiliki kementerian ESDM.



Gambar 1.1 Kapal survei Geomarin III

Proses pemetaan profil dasar laut yang akan dilakukan Geomarin IV dilakukan dengan beberapa tahapan. Pertama, gulungan kabel *streamer* dibentangkan di atas permukaan laut hingga panjang yang diinginkan. Selanjutnya gelombang seismik ditembakkan kedasar laut menggunakan *airgun* sebagai sumber pembangkit gelombang yang di pasang dibagian belakang kapal. Kemudian gelombang seismik merambat melalui air laut menembus kedasar laut dan menyentuh lapisan tanah keras (*impermeable rock*) kemudian dipantulkan kembali ke atas permukaan laut. Diatas permukaan laut gelombang pantul dari dasar laut akan diterima oleh *hydrophones* yang terpasang di sepanjang *streamer*. Konfigurasi seluruh peralatan survei seismik tersebut ditarik oleh kapal survei seismik dari satu lokasi ke lokasi lain yang di inginkan. Pada gambar 1.2 berikut merupakan detail ilustrasi cara operasi survei seismik Geomarin IV.



Gambar 1.2 Ilustrasi operasional kapal survei seismik

*Streamer* yang membentang di atas permukaan laut terhubung dengan sebuah konstruksi *winch roller* yang juga merupakan alat untuk menggulung *streamer* saat tidak digunakan. Sebuah konstruksi *winch roller* terdiri atas dua buah *roller*, empat buah pilar penahan, empat buah *girder* penahan, dan 14 pondasi *bracket*. Pondasi *bracket* ini harus mampu menahan berat konstruksi *winch roller* itu sendiri dan gaya tarik *streamer* saat dibentangkan di atas permukaan laut, jika tidak mampu menahan maka kapal survei seismik tidak dapat melanjutkan kegiatan survei seismik akibat tidak berfungsinya peralatan penerima gelombang yang berimplikasi pada operabilitas kapal survei seismik. Oleh karena itu dirasa perlu untuk melakukan analisis kekuatan pondasi *bracket* dari konstruksi *winch roller*.

Dilihat dari fungsinya, ada dua macam *winch roller* yakni *winch roller* untuk kabel *streamer* yang selanjutnya disebut dengan *winch roller streamer* dan *winch roller* untuk kabel *airgun* yang selanjutnya disebut dengan *winch roller airgun*. Dalam penelitian kali ini lebih difokuskan pada *winch roller streamer*. Pada gambar 1.3 dibawah ini adalah foto konstruksi *winch roller streamer*.



Gambar 1.3 Konstruksi *winch roller streamer* (sumber: Hatlapa marine equipment)

Secara garis besar ada dua kondisi di dalam menganalisis kekuatan struktur pondasi *bracket* dari konstruksi *winch roller streamer*. Pertama adalah kondisi pembebanan internal akibat dari berat konstruksi *winch roller streamer* itu sendiri. Kedua adalah kondisi pembebanan eksternal, yakni ketika kabel *streamer*

sepanjang 12000 meter dibentangkan diatas permukaan laut kemudian ditarik oleh kapal survei maka *streamer* akan mengalami gaya tarik, dimana gaya tarik ini merupakan kondisi pembebanan eksternal pada konstruksi *winch roller streamer*. Karena Geomarin IV akan menjelajah seluruh perairan Indonesia, maka dalam studi ini akan digunakan kondisi lingkungan perairan laut Indonesia yang terbesar tetapi masih masuk dalam kondisi yang memungkinkan untuk operasi survei yakni daerah laut masela.

## 1.2 Perumusan Masalah

Beberapa masalah utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perilaku gerakan Geomarin IV pada saat operasi survei seismik?
2. Berapa besar gaya tarik yang terjadi pada kabel *streamer* saat operasi survei seismik?
3. Berapa nilai tegangan maksimum yang diterima struktur pondasi *bracket*?

## 1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah di atas, dapat diambil tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Melakukan analisis perilaku gerak yang terjadi pada kapal survei Geomarin IV saat operasi survei seismik.
2. Melakukan analisis gaya tarik yang terjadi pada kabel *streamer* saat operasi survei seismik.
3. Melakukan analisis tegangan dan kekuatan struktur pondasi *bracket*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat tugas ini adalah memberikan informasi mengenai evaluasi tegangan lokal yang terjadi pada struktur pondasi dari konstruksi *winch roller streamer* ketika menerima beban internal dan eksternal. Dengan informasi tersebut nantinya akan dapat dilihat apakah struktur pondasi *bracket* yang menghubungkan konstruksi *winch roller streamer* dengan *deck* kapal yang telah dibuat sudah sesuai atau perlu dilakukan penyesuaian lagi.

## 1.5 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan untuk menghindari pembahasan yang melebar, sehingga batasan ruang lingkup yang diberlakukan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini merupakan studi awal perancangan kapal survei seismik Geomarin IV milik kementrian ESDM.
2. Beban lingkungan yang digunakan adalah beban lingkungan laut masela.
3. Beban lingkungan yang ditinjau adalah pada kondisi operasi survei seismik.
4. Pembebanan dilakukan untuk arah datang gelombang *following seas* ( $90^\circ$ ), *head seas* ( $180^\circ$ ) dan *following seas* ( $0^\circ$ ).
5. *Bow truster* tidak dimodelkan.
6. Gaya tarik yang bekerja pada konstruksi *winch roller streamer* dianggap searah horisontal.
7. Kondisi kapal yang ditinjau adalah pada kondisi operasi survei seismik yakni kondisi dengan kecepatan tarik 5 knot dan kabel *streamer* terbentang seluruhnya sepanjang 3 km di atas permukaan laut.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Penelitian yang akan dilakukan kali ini adalah bertemakan analisis tegangan lokal pada salah satu peralatan *deck* di kapal survei seismik Geomarin IV. Beban yang akan di tinjau utamanya adalah beban akibat gaya tarik kabel *streamer*. Peneliti merasa penting melakukan tinjauan pustaka penelitian terdahulu sebagai referensi untuk memahami konsep dan teori serta kalkulasi gaya tarik dari perilaku dinamis kabel yang ditarik dengan sebuah kapal pada kecepatan tertentu. Penelitian tersebut diantaranya telah dilakukan oleh Dowling (1988) mengenai perilaku dinamis dari silinder fleksibel yang ditarik. Penelitian ini terdiri dari 2 bagian dimana bagian pertama adalah untuk *neutrally buoyant elements* dan bagian ke dua adalah *negatively buoyant element*. Penelitian ini ditujukan untuk menganalisis vibrasi transversal dari silinder fleksibel yang ditarik secara konstan. Didalam penelitian ini Dowling juga melakukan analisis perhitungan gaya tarik kabel yang diwakilkan oleh gaya drag tangensial. Gaya tarik yang terjadi pada silinder bertambah mulai dari nol pada bagian silinder yang bebas atau di ujung hingga bernilai maksimum pada bagian *towing point* (bagian yang terkoneksi dengan kapal). Penelitian yang dilakukan Dowling juga menganalisis gaya akibat frekuensi  $\omega$ . Pada frekuensi rendah gaya menyebar secara efektif sepanjang silinder dengan kecepatan tertentu sedangkan pada frekuensi tinggi penyebarannya cukup lambat. Geometri dari fleksibel silinder yang ditarik merujuk pada penggunaan kabel *streamer* yang dioperasikan sehingga, dapat digunakan acuan untuk penelitian yang sedang dikerjakan.

Dalam sebuah hasil seminar yang diselenggarakan oleh UNOLS (2003) didapatkan tinjauan pustaka mengenai karakteristik operasional kapal riset seismik. Kapal survei seismik dapat melaju hingga 14 knot pada laut tenang dan hingga 12 knot pada kondisi *sea state* 4 skala beaufort (tinggi gelombang 1,25 - 2,5 meter ) namun pada kecepatan tersebut tidak optimal untuk pengoperasian survei seismik karena terlalu berisik sehingga dapat mengganggu gelombang seismik yang

dipancarkan. Kecepatan yang digunakan untuk operasi survei seismik dengan *streamer* terbentang seluruhnya adalah 4,5 - 5 knot. Pada *sea state* 4 kapal survei seismik dapat beroperasi penuh artinya seluruh peralatan seismik dapat bekerja dengan baik dan optimum dengan operabilitas 100%. Pada *sea state* 5 (tinggi gelombang 3-4 meter) operabilitas kapal survei seismik menjadi 80% dan turun menjadi 50% pada *sea state* 6 (4-5,5 meter).

Penelitian lainnya mengenai kekuatan yang masih ada hubungannya dengan topik dari tugas akhir ini dilakukan oleh Solovyov (2012). Penelitian tersebut bertujuan untuk mencari berapa besar deformasi yang terjadi pada *trawl winch drum* akibat berat *trawling system* ditambah resisten hidrodinamis saat proses *trawling* dengan kecepatan sekitar 4-6 knot. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis penyebab terjadinya deformasi pada *trawl winch barrel* dengan menggunakan analisis numerik, yaitu distribusi tekanan merata oleh *rope* yang menyebabkan regangan plastis meliputi seluruh volume *barrel winch*. Dalam penelitian ini Solovyov mengambil beberapa kesimpulan bahwa tegangan terjadi di dekat kontak antara *rope trawl* dengan *barrel*. *Barrel bending & torsion* tidak memiliki efek yang signifikan terhadap deformasi *barrel* artinya dapat diabaikan. Regangan (*barrel elongation*) bertambah seiring bertambahnya jumlah siklus dan laju akumulasi regangan bergantung pada ukuran *barrel*, materialnya dan tegangan yang dihasilkan oleh *rope* dan kekakuan *rope* itu sendiri. Dari penelitian tersebut didapatkan informasi bahwa *trawl* yang ditarik dengan kecepatan 4-6 knot akan menimbulkan gaya tarik yang nantinya bekerja pada *winch roller* yang di transfer ke pondasi maka hal tersebut juga akan sangat mungkin terjadi pada konstruksi *winch roller streamer* saat ditarik dengan kapal survei Geomarin IV pada kecepatan 5 knot.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Kapal Survei Seismik

Kapal survei seismik adalah kapal penelitian yang di desain untuk melakukan survei seismik di lepas pantai. Kapal ini sangat penting untuk industri eksplorasi minyak dan gas. Kapal ini dilengkapi dengan peralatan-peralatan sistem seismik seperti *tail buoy*, *airgun*, *streamers*, *acquisition system*, *streamer positioning*, dan

*source controller*. Kapal ini berfungsi sebagai penarik *streamer* untuk meneliti daerah yang diinginkan. Kecepatan kapal saat beroperasi menarik *streamer* adalah 4,5 – 5 knot. Selain itu kapal ini juga sebagai tempat tinggal dan akomodasi para peneliti di tengah laut lepas. Data lapangan yang diperoleh akan diolah didalam sistem yang terpasang pada kapal dan muncul dalam bentuk gambar 3D sehingga dengan mudah diketahui posisi lokasi kandungan potensial minyak dan gas tanpa harus melakukan pengeboran.

Pada kapal ini terdapat ruangan instrumen dimana sejumlah peralatan seismik diletakan dan dioperasikan. Ruangan instrumen biasanya ditempatkan di tengah antara *bridge* dan *back deck*. Di ruangan ini terdapat peralatan utama seismik untuk merekam data seismik dan mengontrol *streamer*. Sistem utama navigasi juga ada di ruangan ini seperti koneksi satelit, kompas dan berbagai alat dan monitor untuk mengontrol posisi. Biasanya juga terdapat area kerja untuk melakukan tes dan perbaikan peralatan seismik. Pada bagian belakang *deck* kapal survei seismik terdapat tempat penyimpanan, perbaikan dan pelepasan peralatan seismik ke laut. *Streamer* seismik disimpan disini pada *roller* yang sangat besar dan ketika dilakukan survei mereka dilepas dan ditarik langsung dari belakang kapal. Berikut ini pada gambar 2.1 merupakan salah satu kapal survei seismik milik polarcus.



Gambar 2.1 Kapal survei seismik polarcus (sumber: polarcus)

### 2.2.2 Peralatan Survei Seismik

Dalam melakukan survei seismik, kapal seismik dilengkapi dengan berbagai peralatan utama antara lain *Streamer*, *Airgun*, *Buoy*/pelampung. Ada 2 jenis *streamer* pada operasi seismik yaitu *streamer* untuk menangkap sinyal gelombang pantul seismik atau *streamer* sonar dan *streamer* untuk *airgun*. *Streamer* sonar

mendeteksi refleksi energi yang sangat kecil yang berjalan dari sumber seismik melalui lapisan seabed dan naik ke atas permukaan menggunakan alat sensor tekanan yang disebut *hydrophone*. *Hydrophone* mengubah sinyal refleksi tekanan menjadi energi listrik yang kemudian dialirkan sepanjang kabel *streamer* ke pusat sistem perekaman data pada ruangan instrumen. *Streamer* sendiri biasanya terdiri dari 5 komponen utama yaitu:

- *Hydrophone*, dipasang setiap 1 meter tetapi kelistrikanya digabung pada grup setiap panjang 12,5 atau 25 meter.
- Modul elektronik, yang mentransmisikan dan mendigitasi data seismik.
- *Stress member*, *steel* atau *kevlar*, yang memberikan elemen kekuatan fisik yang dibutuhkan, membuat *streamer* dapat ditarik pada kondisi yang keras.
- Sistem transmisi elektrik, untuk listrik ke modul elektronik *streamer* dan data telemetri.
- Kulit *streamer* yang membungkus seluruh isi *streamer*.

Pada saat dilakukan survei, posisi *streamer* sedikit ditenggelamkan sedalam 4 sampai 5 meter dari permukaan laut untuk menghindari suara berisik gelombang di permukaan karena dapat mengacaukan gelombang seismik yang dipantulkan dan diterima. Sebagai tambahan untuk melengkapi komponen internal *streamer*, ada 3 jenis alat eksternal yang di pasang ke *streamer* yaitu sesimik cable control atau *tail buoy*, kompas magnetic, dan unit pengatur posisi akustik (*nautilus*). Sedangkan *streamer* untuk *airgun* digunakan sebagai penghubung kompresor dengan *airgun* untuk mengalirkan udara bertekanan. Dibawah ini merupakan gambar potongan melintang kabel *streamer* pada gambar 2.2 dan kabel *airgun* pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 Sonar *Streamer* (sumber: Sercel)





Gambar 2.3 *Streamer Airgun* (sumber: Sercel)

Gelombang seismik berasal dari sebuah sumber seismik yang bisa berasal dari *airgun*, *watergun* dan *vibrator*, tetapi kebanyakan survei menggunakan *airgun* sebagai sumbernya. *Airgun* merupakan alat untuk menembakkan udara bertekanan tinggi yang dihasilkan oleh kompresor. Tekanan udara yang digunakan biasanya berada pada tekanan 2000 - 2500 psi. Total sumber energi yang digunakan bervariasi dari survei satu ke survei yang lain karena didesain untuk menghasilkan energi seismik yang cocok untuk kondisi geologis tertentu dengan meminimalisir gangguan pada lingkungan laut. Output dari sumber seismik hingga hari ini dapat mencapai hingga 220 dB. Pada gambar 2.4 dibawah ini adalah perangkat *airgun* yang terpasang pada kapal survei seismik.



Gambar 2.4 Perangkat *airgun* kapal survei seismik

Pelampung digunakan untuk menjaga *airgun* dan juga *streamer* sonar pada posisi dan elevasi yang diinginkan. Pada bagian akhir *streamer* dipasang *tail buoy* untuk menjaga *streamer* bagian belakang agar tidak bertabrakan dengan *line streamer* yang lain. *Tail buoy* ini dapat dikontrol dengan remote jarak jauh. Pelampung pada *airgun* hanya digunakan untuk membuat *airgun* menjadi melayang di laut dan tidak dapat digerakkan. Untuk menjaga rangkaian *streamer* tetap pada posisinya atau tidak overlap satu sama lain maka ditambahkan *barovane*. *Barovane* merupakan alat yang berfungsi sebagai sayap sehingga menjaga rangkaian *streamer* menjauhi satu sama lain. Berikut dibawah ini merupakan gambar pelampung *airgun* pada gambar 2.5, *tail buoy* pada gambar 2.6, dan *barovane* pada gambar 2.7.



Gambar 2.5 Pelampung untuk *airgun* (sumber: Sercel)



Gambar 2.6 sesimik cable control atau *tail buoy* (sumber: PartnerPlast)



Gambar 2.7 *Barovane* (sumber: Baro Norway)

### 2.2.3 *Lines plan*

*Lines plan* adalah rancana garis dari suatu kapal tanpa kulit yang berupa gambar potongan-potongan badan suatu struktur terapung dalam 3 dimensi. Apabila pada *floating offshore structure* digambarkan sistem sumbu koordinat, maka sumbu-x adalah horisontal memanjang, sumbu-y adalah horisontal melintang, sumbu-z adalah vertikal, maka diperoleh gambar-gambar penampang bidang sebagai berikut :

- Gambar penampang bidang melintang pada sumbu y - z (body plan)
- Gambar penampang bidang horisontal memanjang pada sumbu x – y (half breadth plan)
- Gambar penampang bidang vertikal memanjang pada sumbu x – z (sheer plan)

Selain pada saat perancangan / pembangunan baru , demikian juga pada saat suatu *floating offshore structure* yang sudah ada mengalami reparasi berat/modifikasi/konversi, seringkali gambar *lines plan*nya (*hardcopy/softcopy*) tidak ada, sehingga perlu dilaksanakan lagi “Perancangan Ulang *Lines plan*” agar diperoleh gambar *lines plan* yang sesuai dengan aslinya. Dalam proses pembangunan baru maupun modifikasi/konversi *floating offshore structure*, mutlak diperlukan *Lines plan* dalam format gambar autocad maupun dalam format permodelan maxsurf untuk menghitung/mendesain tahapan materi-materi berikutnya antara lain: *Hydrostatic/Bonjean, Resistance and Propulsion System, General Arrangement, Tank Capacity Plan, Engine Room Lay-out, Construction Profile, Shell Expansion, Midship/Frames Section, Preliminary Stability, Damage Stability/Stability Booklet* dll.

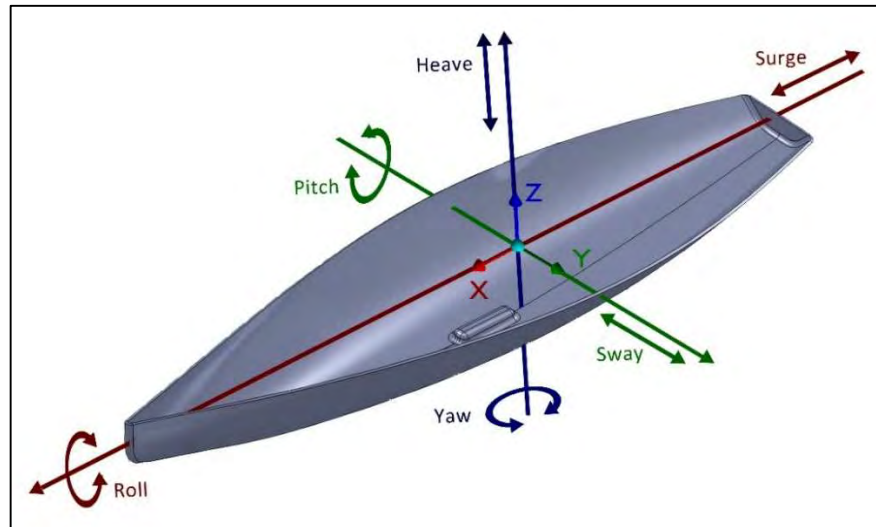
#### 2.2.4 Hidrostatik dan Bonjean

Kurva Hidrostatik merupakan kurva yang menunjukkan karakteristik dan sifat badan kapal yang tercelup air atau di bawah garis air (*water line*) pada saat *even keel*. Dari kurva hidrostatik tersebut, kita dapat meninjau karakteristik kapal pada tiap - tiap kondisi atau ketinggian garis air (*water line*). Kurva hidrostatik terdiri dari dua sumbu utama yang saling tegak lurus. Sumbu mendatar adalah besaran daripada karakteristik kapal yang di skala sedangkan garis vertikal menunjukkan sarat tiap *water line* yang dipakai sebagai titik awal pengukuran kurva hidrostatik.

Kurva Bonjean adalah kurva yang menunjukkan luas tiap tiap *station* pada setiap sarat. Jadi untuk menghitung luas *station* sampai setinggi sarat yang diinginkan dapat dibaca pada lengkung - lengkung bonjean dengan menarik garis mendatar hingga memotong lengkung bonjean pada *station* dan sarat yang diinginkan. Pada umumnya lengkung bonjean cukup digambarkan sampai dengan geladak tepi kapal (*Upper Deck Side Line*) sepanjang kapal. Lengkung bonjean berfungsi untuk mendapatkan volume dan *displacement* tanpa kulit pada setiap sarat yang dikehendaki, baik kapal tersebut dalam keadaan *even keel* maupun *trim* dan juga pada saat kapal terkena gelombang. Untuk langkah pengerjaan selanjutnya lengkung bonjean digunakan untuk perhitungan kebocoran (*Floodable Length*).

#### 2.2.5 Teori Gerak Kapal

Pada kapal terdapat tiga jenis gerakan, yaitu *heave*, *roll*, dan *pitch* yang merupakan gerakan yang murni dari kapal. Tiga jenis gerakan tersebut dipengaruhi oleh *Restoring force* (gaya pengembali) atau momen ketika struktur terapung (dalam bentuk kapal) berada pada posisi setimbangnya. Gerakan yang lain (*surging*, *swaying*, dan *yawing*) tidak dapat mengembalikan kapal tersebut pada posisi setimbang, selain itu itu tidak adanya pengaruh *exciting force* (gaya luar) yang menyebabkan aktivitas gangguan dari arah kebalikannya (Bhattacharyya, 1978). Berikut merupakan ilustrasi gerakan 6 derajat kebebasan pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 gerakan 6 Degree of Freedom sebuah kapal

Tiga macam gerakan kapal yang merupakan gerakan kapal pokok, yaitu:

1. *Rolling* : gerakan *oscillasi rotational* terhadap sumbu *longitudinal* (sumbu x).
2. *Pitching* : gerakan *oscillasi rotational* terhadap sumbu *transversal* (sumbu y).
3. *Heaving* : gerakan *oscillasi translasi* terhadap sumbu *vertical* (sumbu z).

Disamping ketiga macam gerakan pokok di atas, masih ada tiga macam gerakan kapal lainnya yang terjadi kadang kala bersama-sama dengan gerakan-gerakan kapal pokok tadi. Ketiga gerakan kapal yang bukan merupakan gerakan pokok tersebut adalah:

1. *Surging* : gerakan *oscillasi translasi* terhadap sumbu *longitudinal* (sumbu x).
2. *Swaying* : gerakan *oscillasi translasi* terhadap sumbu melintang kapal (sumbu y).
3. *Yawing* : gerakan *oscillasi rotational* terhadap sumbu *vertical* (sumbu z).

#### 2.2.5.1 Gerakan Roll Murni

*Rolling* merupakan gerakan *oscillasi rotational* terhadap sumbu *longitudinal* (sumbu x) sebagai pusat gerakannya. Rumus umum dari persamaan gerak akibat *rolling* adalah

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_o \cos \omega_e t \dots \dots \dots (2.1)$$

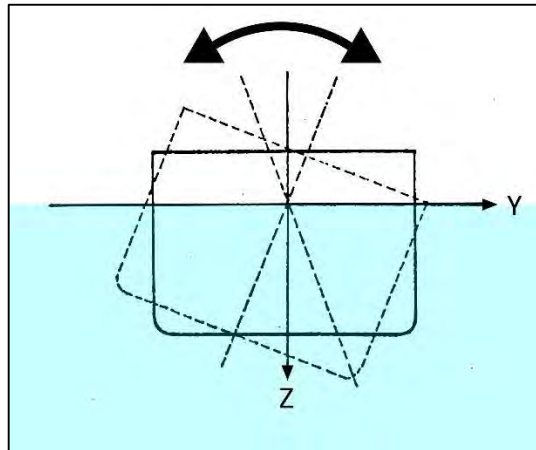
dengan:

$a\ddot{\phi}$  : *Inertial Moment* (N m)



- $b\ddot{\phi}$  : *Damping Moment* (N m)
- $c\dot{\phi}$  : *Restoring moment* (N m)
- $\omega_e$  : Frekuensi gelombang *encountering* (rad/sec)
- $M_o \cos \omega_e t$  : *Exciting moment* (N m)

Pada gambar 2.9 dibawah ini diberikan ilustrasi mengenai gerakan *rolling*.



Gambar 2.9 Ilustrasi gerakan *rolling*

- *Inertial Moment* ( $a\ddot{\phi}$ )

Variabel  $a$  adalah inersia masa dari struktur bangunan apung sedangkan  $\ddot{\phi}$  adalah percepatan sudut *rolling* atau turunan kedua dari sudut *rolling* ( $\text{rad/s}^2$ ). Inersia masa struktur bangunan apung saat *rolling* merupakan penjumlahan antara inersia masa struktur ditambah dengan inersia masa dari masa tambah bagian struktur yang tercelup air (Bhattacharyya, 1978).

$$a = I_{xx} + \delta I_{xx} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$a = \frac{\Delta}{g} k_{xx}^2 + \delta I_{xx} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan :

$I_{xx}$  : inersia masa struktur bangunan apung sendiri ( $\text{m}^4$ )

$\delta I_{xx}$  : inersia masa tambah untuk gerakan *rolling* ( $\text{m}^4$ )

$k_{xx}^2$  : kuadrat dari jari-jari girasi gerakan *rolling* ( $\text{m}^2$ )

Menurut Bhattacharyya diasumsikan bahwa distribusi massa secara *longitudinal* adalah sama dengan distribusi *displacement* secara *longitudinal*. Sehingga distribusi *vertical* tidak begitu berpengaruh dan bahwa CG dari kapal

diasumsikan di *midship section*. Jari-jari girasi *rolling* normalnya berada pada rentang  $0,33B \leq k_{xx}^2 \leq 0,45B$ .

- *Damping Moment* ( $b\dot{\phi}$ )

Variabel  $b$  adalah koefisien momen redaman struktur sedangkan  $\dot{\phi}$  adalah kecepatan sudut *rolling* atau turunan pertama dari sudut *rolling* (rad/s). *Damping coefficient* untuk *rolling* dapat dicari dengan cara percobaan ataupun pendekatan *strip theory* yang ditentukan oleh tiap *station* dan diintegrasikan sebanyak *station* di kapal.

- *Restoring moment* ( $c\phi$ )

*Restoring moment* adalah momen pengembali yang diakibatkan oleh kekakuan dari struktur atau dalam hal bangunan apung kekakuannya adalah kekakuan hidrostatik. Kekakuan hidrostatik muncul akibat adanya gangguan eksternal yang merubah nilai *buoyancy* secara tiba-tiba sehingga mengganggu keseimbangan sistem. Sistem yang tidak seimbang secara tiba-tiba pula akan mencari titik setimbangnya, hal inilah yang menyebabkan seolah-olah kembali ke posisi awal saat terjadi gerakan *rolling*. Variabel  $c$  adalah koefisien momen pengembali sedangkan  $\phi$  adalah sudut gerakan *rolling* (rad). *Restoring moment* dapat dicari dengan persamaan :

$$c\phi = \Delta \overline{GZ} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$c\phi \approx$$

$$\Delta \overline{GM}_T \sin \phi \dots \dots \dots (2.5)$$

$$c\phi = \rho g \nabla \overline{GM}_T \phi \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\text{sehingga diperoleh koefisien momen pengembali } c = \rho g \nabla \overline{GM}_T \dots \dots \dots (2.7)$$

- *Exciting moment* ( $M_0 \cos \omega_e t$ )

*Exciting moment* merupakan total momen yang menyebabkan gerakan *rolling* pada bangunan apung. Dimana  $M_0 = \rho g \nabla k_{za} \overline{GM}_T \dots \dots \dots (2.8)$

#### 2.2.5.2 Gerakan Pitch Murni

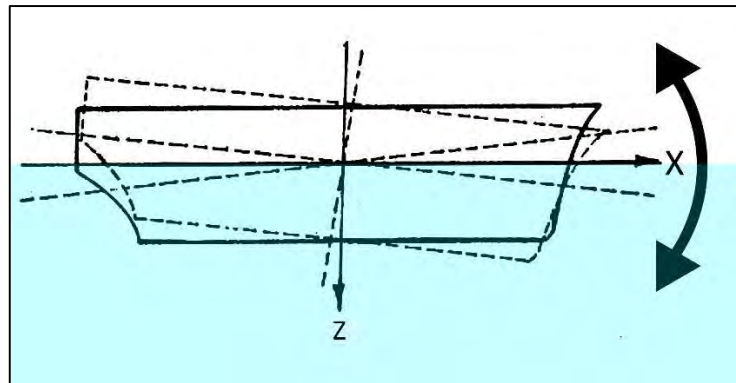
*Pitching* merupakan gerakan *oscillasi rotational* terhadap sumbu *transversal* (sumbu  $y$ ) sebagai pusat gerakannya. Rumus umum dari persamaan gerak akibat *rolling* adalah

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos \omega_e t \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan:

- $a\ddot{\theta}$  : *Inertial Moment* (N m)
- $b\dot{\theta}$  : *Damping Moment* (N m)
- $c\theta$  : *Restoring moment* (N m)
- $\omega_e$  : Frekuensi gelombang *encountering* (rad/sec)
- $M_o \cos \omega_e t$  : *Exciting moment* (N m)

Pada gambar 2.10 dibawah ini diberikan ilustrasi mengenai gerakan *pitching*.



Gambar 2.10 Ilustrasi gerakan *pitching*

- *Inertial Moment* ( $a\ddot{\theta}$ )

Variabel  $a$  adalah inersia masa dari struktur bangunan apung sedangkan  $\ddot{\theta}$  adalah percepatan sudut *pitching* atau turunan kedua dari sudut *pitching* ( $\text{rad/s}^2$ ). Inersia masa struktur bangunan apung saat *pitching* merupakan penjumlahan antara inersia masa struktur ditambah dengan inersia masa dari masa tambah bagian struktur yang tercelup air (Bhattacharyya, 1978).

$$a = I_{yy} + \delta I_{yy} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$a = \frac{\Delta}{g} k_{yy}^2 + \delta I_{yy} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan :

$I_{yy}$  : inersia masa struktur bangunan apung sendiri ( $\text{m}^4$ )

$\delta I_{yy}$  : inersia masa tambah untuk gerakan *pitching* ( $\text{m}^4$ )

$k_{yy}^2$  : kuadrat dari jari-jari girasi gerakan *pitching* ( $\text{m}^2$ )

Menurut Bhattacharyya diasumsikan bahwa distribusi massa secara *longitudinal* adalah sama dengan distribusi *displacement* secara *longitudinal*.



Sehingga distribusi *vertical* tidak begitu berpengaruh dan bahwa CG dari kapal diasumsikan di *Centerline*. Jari-jari girasi *pitching* normalnya berada pada rentang 0,24L sampai 0,26L.

- *Damping Moment* ( $b\dot{\theta}$ )

Variabel  $b$  adalah koefisien momen redaman struktur sedangkan  $\dot{\theta}$  adalah kecepatan sudut *rolling* atau turunan pertama dari sudut *rolling* (rad/s). *Damping coefficient* untuk *rolling* dapat dicari dengan cara percobaan ataupun pendekatan *strip theory* yang ditentukan oleh tiap *station* dan diintegrasikan sebanyak *station* di kapal.

- *Restoring moment* ( $c\theta$ )

*Restoring moment* adalah momen pengembali yang diakibatkan oleh kekakuan dari struktur atau dalam hal bangunan apung kekakuannya adalah kekakuan hidrostatik. Kekakuan hidrostatik muncul akibat adanya gangguan eksternal yang merubah nilai *buoyancy* secara tiba-tiba sehingga mengganggu keseimbangan sistem. Sistem yang tidak seimbang secara tiba-tiba pula akan mencari titik setimbangnya, hal inilah yang menyebabkan seolah-olah kembali ke posisi awal saat terjadi gerakan *rolling*. Variabel  $c$  adalah koefisien momen pengembali sedangkan  $\theta$  adalah sudut gerakan *pitching* (rad). *Restoring moment* dapat dicari dengan persamaan:

$$c\theta = \rho g \theta I_y \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\text{dengan } \overline{BM}_L = I_y / \nabla \dots \dots \dots (2.13)$$

$$c\theta = \rho g \theta \nabla \overline{BM}_L \dots \dots \dots (2.14)$$

$$c\theta = \rho g \theta \nabla \overline{BM}_L \text{ dan untuk sudut kecil menjadi } \dots \dots \dots (2.15)$$

$$c\theta = \rho g \nabla \overline{GM}_L \theta \dots \dots \dots (2.16)$$

sehingga diperoleh koefisien momen pengembali  $c = \Delta \overline{GM}_L$

- *Exciting moment* ( $M_0 \cos \omega_e t$ )

*Exciting moment* merupakan total momen yang menyebabkan gerakan *pitching* pada bangunan apung dengan persamaan  $M_\theta = M_0 \cos \omega_e t$

### 2.2.5.3 Gerakan *Heave* Murni

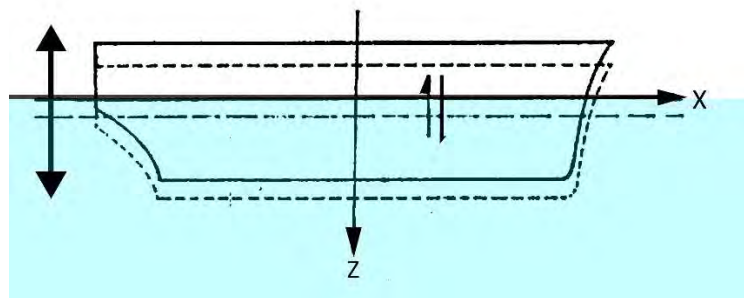
*Heaving* merupakan gerakan *oscillasi translasional* terhadap sumbu *vertical* (sumbu *z*) sebagai pusat gerakannya. Rumus umum dari persamaan gerak *heaving* adalah

$$a\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F_0 \cos \omega_e t \dots \dots \dots (2.17)$$

dengan:

- $a\ddot{z}$  : *Inertial Force* (N)
- $b\dot{z}$  : *Damping Force* (N)
- $cz$  : *Restoring force* (N)
- $\omega_e$  : Frekuensi gelombang *encountering* (rad/sec)
- $F_0 \cos \omega_e t$  : *Exciting Force* (N)

Pada gambar 2.11 dibawah ini diberikan ilustrasi mengenai gerakan *heaving*.



Gambar 2.11 Ilustrasi gerakan *heaving*

- *Inertial Force* ( $a\ddot{z}$ )

Variabel *a* adalah masa dari struktur bangunan apung sedangkan  $\ddot{z}$  adalah percepatan gerak *heave* atau turunan kedua dari jarak perpindahan *heave* ( $m/s^2$ ). Masa struktur bangunan apung saat *heaving* merupakan penjumlahan antara masa struktur ditambah dengan masa dari masa tambah bagian struktur yang tercelup air (Bhattacharyya, 1978).

$$a = m + a_z \dots \dots \dots (2.18)$$

Dengan :

- m* : masa struktur bangunan apung sendiri (ton)
- $a_z$  : masa tambah untuk gerakan *heaving* (ton)

- *Damping Force* ( $b\dot{z}$ )

Variabel  $b$  adalah koefisien redaman struktur sedangkan  $\dot{z}$  adalah kecepatan *heaving* atau turunan pertama dari jarak perpindahan *heave* (m/s). *Damping coefficient* untuk *heaving* dapat dicari dengan cara percobaan ataupun pendekatan *strip theory* yang ditentukan oleh tiap *station* dan diintegrasikan sebanyak *station* di kapal.

- *Restoring force* ( $c z$ )

*Restoring force* adalah gaya pengembali yang diakibatkan oleh kekakuan dari struktur atau dalam hal bangunan apung kekakuannya adalah kekakuan hidrostatik. Kekakuan hidrostatik muncul akibat adanya gangguan eksternal yang merubah nilai *buoyancy* secara tiba-tiba sehingga mengganggu keseimbangan sistem. Sistem yang tidak seimbang secara tiba-tiba pula akan mencari titik setimbangnya, hal inilah yang menyebabkan seolah-olah kembali ke posisi awal saat terjadi gerakan *heaving*. Variabel  $c$  adalah koefisien gaya pengembali sedangkan  $z$  adalah jarak perpindahan gerakan *heaving* (m). *Restoring force* dapat dicari dengan persamaan

$$c z = \rho g A_{wp} z \dots\dots\dots(2.19)$$

sehingga diperoleh koefisien gaya pengembali  $c = \rho g A_{wp} \dots\dots\dots(2.20)$

- *Exciting Force* ( $F_0 \cos \omega_e t$ )

*Exciting force* merupakan total momen yang menyebabkan gerakan *heave* pada bangunan apung. Gaya ini merupakan gaya gelombang yang mengenai struktur, untuk struktur dengan  $D / \lambda < 0,2$  gaya gelombang dapat dicari dengan menggunakan menggunakan teori morison sedangkan untuk  $D / \lambda > 0,2$  dapat menggunakan teori difraksi. Pada gerakan *heave* didapatkan

$$F_0 = 2 \rho g \zeta_a A_{wp} \dots\dots\dots(2.21)$$

#### 2.2.5.4 Gerakan *Surge* Murni

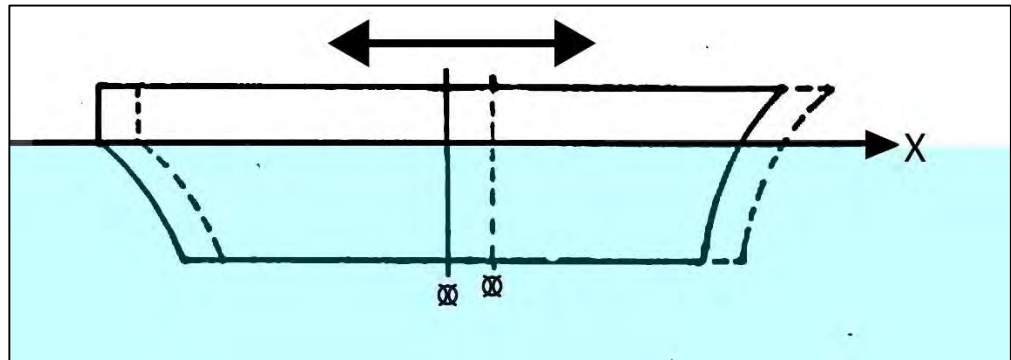
*Surge* merupakan gerakan *oscillasi translasional* terhadap sumbu *longitudinal* (sumbu  $x$ ) sebagai pusat geraknya. Karena tidak memiliki parameter kekakuan hidrostatik rumus umum dari persamaan gerak *surging* berbeda dengan persamaan gerak pada gerakan utama. Persamaan gerak *surge* menjadi

$$a\ddot{x} + b\dot{x} + cx = F_0 \cos \omega_e t \dots\dots\dots(2.22)$$

dengan:

- $a\ddot{x}$  : *Inertial Force* (N)
- $b\dot{x}$  : *Damping Force* (N)
- $cx$  : *Restoring force* (N)
- $\omega_e$  : Frekuensi gelombang *encountering* (rad/sec)
- $F_o \cos \omega_e t$  : *Exciting Force* (N)

Pada gambar 2.12 dibawah ini diberikan ilustrasi mengenai gerakan *surge*.



Gambar 2.12 Ilustrasi gerakan *surge*

- *Inertial Force* ( $a\ddot{x}$ )

Variabel  $a$  adalah masa dari struktur bangunan apung sedangkan  $\ddot{x}$  adalah percepatan gerak *surge* atau turunan kedua dari jarak perpindahan *surge* ( $m/s^2$ ). Masa struktur bangunan apung saat *surging* merupakan penjumlahan antara masa struktur ditambah dengan masa dari masa tambah bagian struktur yang tercelup air (Bhattacharyya, 1978).

$$a = m + a_x \dots \dots \dots (2.23)$$

Dengan :

$m$  : masa struktur bangunan apung sendiri (ton)

$a_x$  : masa tambah untuk gerakan *surging* (ton)

- *Damping Force* ( $b\dot{x}$ )

Variabel  $b$  adalah koefisien redaman struktur sedangkan  $\dot{x}$  adalah kecepatan *surging* atau turunan pertama dari jarak perpindahan *surge* ( $m/s$ ). *Damping coefficient* untuk *surging* dapat dicari dengan cara percobaan ataupun pendekatan *strip theory* yang ditentukan oleh tiap *station* dan diintegrasikan sebanyak *station* di kapal.

- *Restoring force* (N)

Variabel  $c$  adalah koefisien gaya pengembali sedangkan  $x$  adalah jarak perpindahan gerakan *surge* (m). Gaya pengembali yang dimiliki oleh gerakan *surge* adalah 0 atau tidak memiliki kekakuan.

- *Exciting Force* ( $F_0 \cos \omega_e t$ )

*Exciting force* merupakan total momen yang menyebabkan gerakan *surge* pada bangunan apung. Gaya ini merupakan gaya gelombang yang mengenai struktur, untuk struktur dengan  $D / \lambda < 0,2$  gaya gelombang dapat dicari dengan menggunakan menggunakan teori morison sedangkan untuk  $D / \lambda > 0,2$  dapat menggunakan teori difraksi.

#### 2.2.5.5 Gerakan Sway Murni

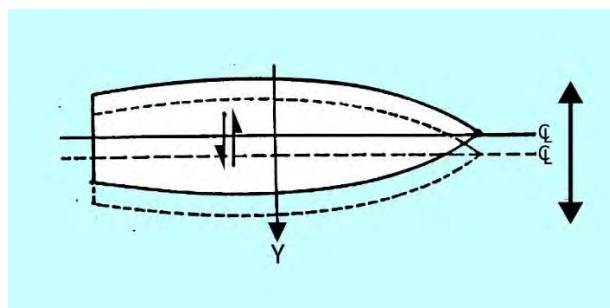
*Sway* merupakan gerakan *oscilasi translasional* terhadap sumbu *transversal* (sumbu  $y$ ) sebagai pusat gerakannya. Karena tidak memiliki parameter kekakuan hidrostatik rumus umum dari persamaan gerak *swaying* berbeda dengan persamaan gerak pada gerakan utama. Persamaan gerak *sway* menjadi

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = F_0 \cos \omega_e t \dots \dots \dots (2.24)$$

dengan:

- $a\ddot{y}$  : *Inertial Force* (N)
- $b\dot{y}$  : *Damping Force* (N)
- $cy$  : *Restoring force* (N)
- $\omega_e$  : Frekuensi gelombang *encountering* (rad/sec)
- $F_0 \cos \omega_e t$  : *Exciting Force* (N)

Pada gambar 2.13 dibawah ini diberikan ilustrasi mengenai gerakan *swaying*.



Gambar 2.13 Ilustrasi gerakan *swaying*

- *Inertial Force* ( $a\ddot{y}$ )

Variabel  $a$  adalah masa dari struktur bangunan apung sedangkan  $\ddot{y}$  adalah percepatan gerak *sway* atau turunan kedua dari jarak perpindahan *sway* ( $m/s^2$ ). Masa struktur bangunan apung saat *surgings* merupakan penjumlahan antara masa struktur ditambah dengan masa dari masa tambah bagian struktur yang tercelup air (Bhattacharyya, 1978).

$$a = m + a_y \dots \dots \dots (2.25)$$

Dengan :

$m$  : masa struktur bangunan apung sendiri (ton)

$a_y$  : masa tambah untuk gerakan *swaying* (ton)

- *Damping Force* ( $b\dot{y}$ )

Variabel  $b$  adalah koefisien redaman struktur sedangkan  $\dot{y}$  adalah kecepatan *swaying* atau turunan pertama dari jarak perpindahan *sway* ( $m/s$ ). *Damping coefficient* untuk *swaying* dapat dicari dengan cara percobaan ataupun pendekatan *strip theory* yang ditentukan oleh tiap *station* dan diintegrasikan sebanyak *station* di kapal.

- *Restoring force* ( $N$ )

Variabel  $c$  adalah koefisien gaya pengembali sedangkan  $y$  adalah jarak perpindahan gerakan *sway* ( $m$ ). Gaya pengembali yang dimiliki oleh gerakan *sway* adalah 0 atau tidak memiliki kekakuan.

- *Exciting Force* ( $F_0 \cos \omega_e t$ )

*Exciting force* merupakan gaya total yang menyebabkan gerakan *sway* pada bangunan apung. Gaya ini merupakan gaya gelombang yang mengenai struktur, untuk struktur dengan  $D / \lambda < 0,2$  gaya gelombang dapat dicari dengan menggunakan menggunakan teori morison sedangkan untuk  $D / \lambda > 0,2$  dapat menggunakan teori difraksi. Pada gerakan *roll* didapatkan

#### 2.2.5.6 Gerakan *Yaw* Murni

*yawing* merupakan gerakan *oscillasi rotational* terhadap sumbu *vertikal* (sumbu  $z$ ) sebagai pusat geraknya. Karena tidak memiliki parameter kekakuan

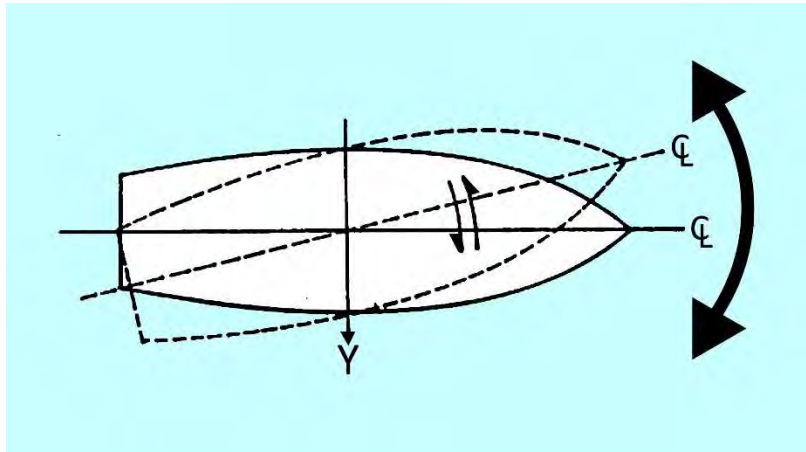
hidrostatik rumus umum dari persamaan gerak *yawing* berbeda dengan persamaan gerak pada gerakan utama. Persamaan gerak *yaw* menjadi

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_o \cos \omega_e t \dots \dots \dots (2.26)$$

dengan:

- $a\ddot{\phi}$  : *Inertial Moment* (N m)
- $b\dot{\phi}$  : *Damping Moment* (N m)
- $c\phi$  : *Restoring moment* (N m)
- $\omega_e$  : Frekuensi gelombang *encountering* (rad/sec)
- $M_o \cos \omega_e t$  : *Exciting moment* (N m)

Pada gambar 2.14 dibawah ini diberikan ilustrasi mengenai gerakan *yawing*



Gambar 2.14 Ilustrasi gerakan *yawing*

- *Inertial Moment* ( $a\ddot{\phi}$ )

Variabel  $a$  adalah inersia masa dari struktur bangunan apung sedangkan  $\ddot{\phi}$  adalah percepatan sudut *yawing* atau turunan kedua dari sudut *yawing* ( $\text{rad/s}^2$ ). Inersia masa struktur bangunan apung saat *yawing* merupakan penjumlahan antara inersia masa struktur ditambah dengan inersia masa dari masa tambah bagian struktur yang tercelup air (Bhattacharyya, 1978).

$$a = I_{zz} + \delta I_{zz} \dots \dots \dots (2.27)$$

$$a = \frac{\Delta}{g} k_{zz}^2 + \delta I_{zz} \dots \dots \dots (2.28)$$

Dengan :

- $I_{zz}$  : inersia masa struktur bangunan apung sendiri ( $\text{m}^4$ )
- $\delta I_{zz}$  : inersia masa tambah untuk gerakan *yawing* ( $\text{m}^4$ )

$k_{zz}^2$  : kuadrat dari jari-jari girasi gerakan *yawing* ( $m^2$ )

- *Damping Moment* ( $b\dot{\phi}$ )

Variabel  $b$  adalah koefisien momen redaman struktur sedangkan  $\dot{\phi}$  adalah kecepatan sudut *yawing* atau turunan pertama dari sudut *yawing* (rad/s). *Damping coefficient* untuk *yawing* dapat dicari dengan cara percobaan ataupun pendekatan *strip theory* yang ditentukan oleh tiap *station* dan diintegrasikan sebanyak *station* di kapal.

- *Restoring force* (N)

Variabel  $c$  adalah koefisien gaya pengembali sedangkan  $\phi$  adalah sudut gerakan *yaw* (rad). Gaya pengembali yang dimiliki oleh gerakan *yaw* adalah 0 atau tidak memiliki kekakuan.

- *Exciting moment* ( $M_0 \cos \omega_e t$ )

*Exciting moment* merupakan total momen yang menyebabkan gerakan *yawing* pada bangunan apung.

#### 2.2.5.7 Gerakan *Couple six degree of freedom*

Karena bangunan apung yang ditinjau terdiri dari enam mode gerakan bebas (*six degree of freedom*), dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi tersebut adalah linier dan harmonik, maka persamaan turunan gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\zeta}_k + B_{jk}\dot{\zeta}_k + C_{jk}\zeta_k] = F_j e^{i\omega t} ; j, k = 1, 6, \dots \quad (2.29)$$

dengan:

$M_{jk}$  : Komponen matriks massa bangunan apung

$A_{jk}, B_{jk}$  : Matriks koefisien massa tambah dan redaman

$C_{jk}$  : Koefisien-koefisien gaya hidrostatik pengembali

$F_j$  : Amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks

$F_1, F_2$ , dan  $F_3$  : Amplitudo gaya-gaya eksitasi yang mengakibatkan *surge*, *sway* dan *heave*

$F_4, F_5$ , dan  $F_6$  : Amplitudo momen eksitasi untuk *roll*, *pitch* dan *yaw*

Persamaan di atas menunjukkan hubungan antara gaya aksi dan reaksi. Gaya aksi digambarkan oleh variabel pada ruas kanan, yang merupakan eksitasi



gelombang terhadap bangunan apung. Gaya reaksi ditunjukkan oleh variabel kiri pada persamaan, yang terdiri dari gaya inersia, gaya redaman dan gaya pengembali, yang masing-masing berkorelasi dengan percepatan gerak, kecepatan gerak dan simpangan atau *displacement* gerakan (Djarmiko 2003).

## 2.2.6 Perilaku Bangunan Apung Pada Gelombang Reguler

### 2.2.6.1 Gelombang Reguler

- Potensial Gelombang

Analisis beban hidrodinamis pada struktur bangunan apung yang memiliki luasan tercelup air relatif besar memiliki pengaruh dampak potensial gelombang yang lebih dominan dibandingkan dengan dampak viskositasnya. Dengan asumsi batasan fluida yang dianalisis adalah kecil maka fluida di sekitar bangunan apung dianggap sebagai fluida ideal, yang memiliki karakter tidak memiliki viskositas (*inviscid*) dan tidak mampu mampat (*incompressible*), sehingga gerakan fluida tersebut menjadi tidak berotasi (*irrotational*). Dalam kondisi tersebut vektor kecepatan fluida  $V$  dapat diekspresikan sebagai derajat kecepatan (skalar) potensial  $\phi$  arah  $x$  ( $x, y, z$ ) terhadap waktu  $t$  pada sumbu cartesian (Faltinsen 1990).

$$V = \nabla\phi \cong \frac{\partial\phi}{\partial x}i + \frac{\partial\phi}{\partial y}j + \frac{\partial\phi}{\partial z}k \dots\dots\dots (2.30)$$

Dengan  $i, j$  dan  $k$  adalah unit vektor dari masing-masing sumbu  $x, y$  dan  $z$ .

Dikarenakan fluida tersebut diasumsikan tak mampu mampat maka  $V \cdot \nabla = 0$

Sehingga,

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial z^2} = 0 \dots\dots\dots (2.31)$$

Persamaan tersebut memenuhi persamaan Laplace yang mengekspresikan massa fluida pada aliran potensial yang diselesaikan dalam fungsi kecepatan potensial pada masing-masing sumbu  $x, y$  dan  $z$ . Faktor lainnya yang turut diperhitungkan adalah tekanan pada permukaan fluida. Tekanan  $p$  didapatkan dari persamaan Bernoulli yang mengkorelasikan antara kecepatan dan tekanan aliran. Jika suatu aliran telah diketahui karakteristik kecepatannya maka dapat digunakan untuk menghitung tekanannya, dan jika tekanan diintegrasikan akan didapatkan besaran gaya yang ditimbulkan oleh fluida. Hal ini menjadi prinsip dasar dari teori hidrodinamika, yakni menghitung besarnya beban atau gaya fluida dari integrasi tekanan yang berasal dari hasil identifikasi pola dan kecepatan aliran fluida

(Djarmiko 2003). Berdasarkan persamaan Bernoulli tekanan pada permukaan fluida dapat diekspresikan sebagai,

$$p + \rho gz + \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\rho}{2} V \cdot V = C \dots \dots \dots (2.32)$$

dengan C merupakan konstanta dalam fungsi waktu yang bergantung pada kecepatan potensial. Tekanan pada permukaan ( $z = 0$ ) diasumsikan memiliki tekanan yang sama dengan tekanan atmosfer, sehingga persamaannya akan dijelaskan kemudian.

- **Kondisi Batas**

Ada dua kondisi batas yang akan diterapkan untuk memperoleh persamaan gelombang reguler ini yakni :

1. **Kondisi batas kinematik**

Kondisi ini berkaitan dengan kecepatan fluida di sekitar bangunan. Kondisi batas kinematik pada bangunan apung yang bergerak translasi dan rotasi fluida diasumsikan sebagai

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = U \cdot n \quad \text{pada permukaan} \dots \dots \dots (2.33)$$

dengan  $U$  adalah kecepatan gerak bangunan apung dan  $n$  adalah vektor yang menjelaskan titik normal pada permukaan di sekitar bangunan (menunjukkan arah translasi maupun rotasi).

Persamaan di atas menjelaskan bahwa tidak ada fluida yang keluar maupun masuk dari bangunan. Kondisi batas permukaan bebas didefinisikan sebagai  $z = \zeta$  ( $x, y, t$ ) = 0, dengan  $\zeta$  adalah elevasi gelombang. Sehingga partikel fluida didefinisikan sebagai fungsi,

$$F(x, y, z, t) = z - \zeta(x, y, t) = 0 \dots \dots \dots (2.34)$$

Partikel pada permukaan diasumsikan selalu berada di permukaan gelombang (Chakrabarti, 1987), sehingga dapat dituliskan sebagai

$$\frac{DF}{Dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + V \cdot \nabla F = 0 \dots \dots \dots (2.35)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (z - \zeta(x, y, t)) + \nabla \phi \cdot \nabla (z - \zeta(x, y, t)) = 0 \dots \dots \dots (2.36)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{pada } z = \zeta(x, y, t) \dots \dots \dots (2.37)$$

Sedangkan kondisi batas kinematik pada dasar laut diasumsikan bahwa dasar laut adalah padat sehingga tidak dapat ditembus oleh fluida. Hal ini menjelaskan bahwa

kecepatan vertikal fluida di dasar laut adalah sama dengan nol, sehingga dapat didefinisikan sebagai

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad \text{pada dasar laut} \dots \dots \dots (2.38)$$

## 2. Kondisi batas dinamik

Kondisi ini berkaitan dengan gaya-gaya yang bekerja pada batas di sekitar bangunan. Kondisi ini mengasumsikan tekanan yang terjadi di permukaan sama dengan tekanan atmosfer (Chakrabarti 1987). Jika koefisien C pada persamaan tekanan pada permukaan fluida diartikan sebagai  $P_0/\rho$  maka persamaannya berarti tidak terjadi gerakan fluida sehingga dapat dituliskan,

$$g\zeta + \frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \left( \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 \right) = 0 \dots \dots \dots (2.39)$$

Tetapi dari persamaan diatas, permukaan bebas tidak bisa diketahui sebelum menyelesaikan persamaan sebelumnya. Perlu dilakukan *linearisasi* pada kondisi batas permukaan sehingga persamaan di atas dapat diselesaikan. Dengan mengasumsikan struktur tidak memiliki kecepatan dan arusnya bernilai nol. Teori *linearisasi* yang diterapkan mempunyai arti bahwa kecepatan potensial memiliki hubungan sebanding dengan amplitudo gelombang, sehingga dapat dituliskan

$$g\zeta + \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \quad \text{pada } z = 0 \dots \dots \dots (2.40)$$

### • Teori gelombang reguler / airy

Dengan mengasumsikan kondisi dasar laut adalah rata dan batasan horisontal pada permukaan bernilai tak hingga maka teori gelombang *linear* atau yang lebih dikenal dengan teori gelombang Airy dapat diterapkan. Persamaan-persamaan yang dari teori gelombang Airy adalah sebagai berikut :

#### 1. Kecepatan potensial ( $\phi$ )

$$\phi = \frac{gA \cosh k(z+d)}{\omega \cosh kd} \sin(kx - \omega t) \dots \dots \dots (2.41)$$

#### 2. Kecepatan fluida

$$v_z = -A\omega \frac{\sinh(kz-kd)}{\sinh kd} \sin(\omega t - kx) \dots \dots \dots (2.42)$$

$$v_x = -A\omega \frac{\cosh(kz-kd)}{\sinh kd} \cos(\omega t - kx) \dots \dots \dots (2.43)$$

#### 3. Percepatan fluida

$$a_z = -A\omega^2 \frac{k \sinh(kz-kd)}{\sinh kd} \cos(\omega t - kx) \dots \dots \dots (2.44)$$

$$a_x = -A\omega^2 \frac{k \cosh(kz-kd)}{\sinh kd} \sin(\omega t - kx) \dots \dots \dots (2.45)$$

dengan,

$A$  = amplitudo gelombang (m)

$Z$  = fungsi kedalaman (m)

$\omega$  = frekuensi gelombang (rad/s)

$d$  = kedalaman laut (m)

$k$  = angka gelombang ( $2\pi / \lambda$ )

$X$  = fungsi posisi horizontal (m)

- Gaya Gelombang

Gaya gelombang merupakan penjumlahan antara gaya inersia dan gaya drag. Gaya inersia merupakan gaya yang berhubungan dengan percepatan gelombang dan masa struktur (ditambah dengan masa tambah struktur), sedangkan gaya drag berhubungan dengan gaya koefisien drag dari geometri benda yang tercelup air. Ada beberapa teori yang digunakan untuk mendapatkan gaya gelombang seperti teori morison (untuk  $D/\lambda < 0.2$ ) dan teori difraksi (untuk  $D/\lambda > 0.2$ ).

1. Gaya Inersia

Gaya inersia berhubungan dengan masa dan percepatan, ada 2 masa untuk menghitung gaya inersia yakni masa struktur dan masa tambah dari struktur karena tercelup air. Masa tambah diwakili dengan koefisien masa tambah yang diperoleh dari berbagai percobaan. Persamaan gaya inersia adalah sebagai berikut, dimana  $F_i$  adalah gaya inersia;  $m$  adalah masa struktur;  $C_a$  adalah koefisien masa tambah dan  $\ddot{u}$  adalah percepatan gelombang

$$F_i = m\ddot{u} + C_a m\ddot{u} \dots\dots\dots(2.46)$$

2. Gaya Drag

Gaya drag dipengaruhi oleh kekentalan fluida dan juga bentuk geometri benda yang tercelup air atau fluida. Persamaan gaya drag adalah sebagai berikut, dimana  $F_d$  adalah gaya drag;  $C_d$  adalah koefisien drag;  $\rho$  adalah masa jenis fluida;  $A$  adalah luasan yang terkena aliran fluida dan  $u$  adalah kecepatan aliran fluida.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A |u| u \dots\dots\dots(2.47)$$

Koefisien drag adalah parameter tak berdimensi yang menyatakan tahanan suatu objek yang tercelup air terhadap lingkungan fluida atau dalam hal ini aliran fluida. Koefisien fluida ini dipengaruhi oleh bilangan reynold, geometri dan posisi benda terhadap arah datang aliran fluida, utamanya kekasaran benda tersebut, semakin kasar maka nilai  $C_d$  nya semakin besar sehingga berakibat pada tingginya gaya drag sedangkan semakin halus dan seragam suatu permukaan maka gaya dragnya menjadi kecil. Koefisien drag dicari dengan melakukan berbagai

percobaan terhadap beberapa benda dengan geometri yang berbeda-beda. Berikut adalah data koefisien drag pada gambar 2.15 berdasarkan bentuk benda yang tercelup dalam air.

Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Angled Cube	0.80
Long Cylinder	0.82
Short Cylinder	1.15
Streamlined Body	0.04
Streamlined Half-body	0.09

Measured Drag Coefficients

Gambar 2.15 koefisien drag untuk berbagai macam bentuk geometri benda

#### 2.2.6.2 Respon Amplitudo Operator (RAO)

*Respon Amplitudo Operator (RAO)* adalah karakteristik gerakan bangunan apung saat dikenai gelombang reguler dalam rentang frekuensi tertentu. RAO juga disebut sebagai *transfer function* karena merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan struktur.

RAO gerakan translasi (*surge, sway, heave*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan bangunan apung dibanding dengan amplitudo gelombang yang terjadi dan dinyatakan dalam satuan m/m (Djarmiko 2003). Persamaan RAO gerakan translasi adalah sebagai berikut

$$RAO_{(\omega)} = \frac{X_{(\omega)}; Y_{(\omega)}; Z_{(\omega)}}{\zeta_{0(\omega)}} \text{ (m/m) .....(2.48)}$$

Dengan

$X_{(\omega)}; Y_{(\omega)}; Z_{(\omega)}$  = Amplitudo gerakan translasi struktur bangunan apung pada sumbu x, y, z (m)

$\zeta_{0(\omega)}$  = Amplitudo gelombang (m)

RAO gerakan rotasi (*roll*, *pitch*, *yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan amplitudo gelombang yang terjadi dan dinyatakan dalam satuan (rad/m). Persamaan RAO gerakan rotasional adalah sebagai berikut

$$RAO_{(\omega)} = \frac{\phi_{(\omega)}; \theta_{(\omega)}; \phi_{(\omega)}}{\zeta_{0(\omega)}} \text{ (rad/m) .....(2.49)}$$

Dengan :

$\phi_{(\omega)}; \theta_{(\omega)}; \phi_{(\omega)}$  = amplitudo gerakan rotasi struktur bangunan apung pada sumbu x, y, z (rad)

$\zeta_{0(\omega)}$  = Amplitudo gelombang (m)

Untuk kapal yang bergerak dengan kecepatan tertentu maka RAO yang dihasilkan adalah merupakan fungsi dari frekuensi encounter bukan lagi frekuensi gelombang. Frekuensi encounter adalah frekuensi gelombang yang berpapasan dengan kapal yang bergerak pada kecepatan tertentu. Frekuensi encounter dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\omega_e = \omega - \frac{\omega^2 V}{g} \cos \mu \text{ .....(2.50)}$$

Dengan:

$\omega_e$  = frekuensi encounter (rad/s)

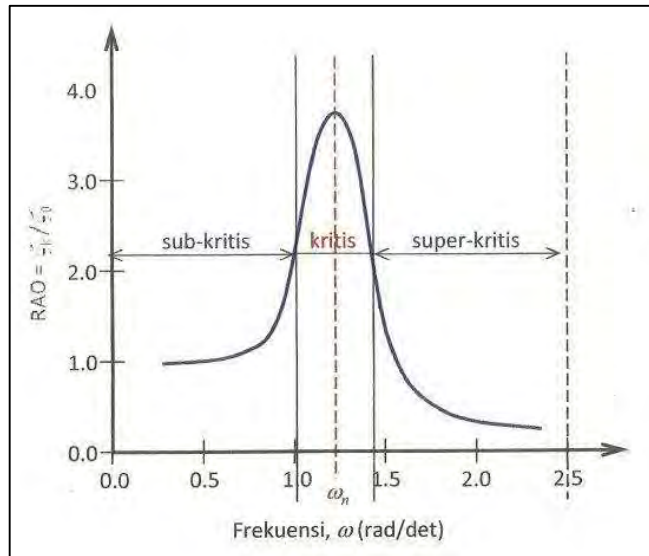
$\omega$  = frekuensi gelombang (rad/s)

$V$  = kecepatan kapal (m/s)

$\mu$  = sudut papasan gelombang ( $^\circ$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

Pada umumnya RAO disajikan dalam bentuk kurva dengan absisnya merupakan parameter frekuensi gelombang atau frekuensi encounter jika bangunan apung melaju dalam kecepatan tertentu lebih dari 0 knot, sedangkan ordinatnya adalah RAO tersebut. Pada gambar 2.16 dibawah ini disajikan contoh umum grafi RAO pada bangunan apung.



Gambar 2.16 Bentuk Umum Grafik Respons Gerakan Bangunan Apung (Djarmiko 2003)

Berdasarkan Gambar 2.16, kurva respons gerakan bangunan apung pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga bagian:

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau  $\omega^2$  kurang dari  $k/(m+a)$ , gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni  $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.
- Ketiga adalah daerah super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak

gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu, gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana  $\omega^2$  kurang dari  $k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor massa (Djarmiko 2003).

## 2.2.7 Perilaku Bangunan Apung Pada Gelombang Acak

### 2.2.7.1 Spektrum Gelombang

Spektrum gelombang adalah distribusi energi gelombang pada suatu rentang frekuensi tertentu dengan sebuah puncak pada salah satu frekuensinya. Analisis spektrum gelombang dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa teori spektrum gelombang yang telah ada, antara lain model spektrum JONSWAP, Pierson-Moskowitz, ISSC ataupun ITTC. Untuk perairan Indonesia spektrum yang cocok adalah dengan menggunakan spektrum jonswap. Spektrum jonswap sebenarnya digunakan untuk perairan laut terbuka di *north sea* sedangkan laut Indonesia adalah laut tertutup yang relative tidak seganas *north sea*. Dengan menggunakan spektrum jonswap untuk laut Indonesia diharapkan hasil perhitungan akan lebih aman, jika menggunakan spektrum jonswap yang seharusnya digunakan untuk laut ganas saja aman apalagi jika digunakan di laut Indonesia pasti juga aman. Spektrum jonswap yang digunakan untuk laut Indonesia biasanya tetap dilakukan penyesuaian agar hasil yang didapat tidak terlalu *overdesain*.

Berikut ini adalah formulasi spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian: *Joint North Sea Wave Project* (JONSWAP) – untuk perairan tertutup/kepulauan, yang merupakan modifikasi dari Spektrum Pierson Moskowitz.

$$S_j(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left(-1,25 \left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-4}\right) \gamma^{\exp\left(-0,5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right)} \dots\dots(2.51)$$

dengan :

$\omega_m$  = frekuensi puncak spektra (*spektral peak frequency*)

$\gamma$  = parameter puncak (*peakness parameter*)

$\sigma$  = parameter bentuk (*shape parameter*) untuk  $\omega \leq \omega_m = 0,07$  dan  $\omega \geq \omega_m = 0,09$



Sedangkan nilai dari parameter puncak ( $\gamma$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\gamma = \exp \left[ 3.4843 \left( 1 - 0.1975 \left( 0.036 - 0.0056 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \frac{T_p^4}{H_s^2} \right) \right) \right] \dots\dots(2.52)$$

dengan:

$T_p$  = periode puncak spektra

$H_s$  = tinggi gelombang signifikan

Setelah mendapatkan kurva spektrum gelombang maka selanjutnya dapat dilakukan analisis luasan dibawah kurva spektra untuk mendapatkan parameter-parameter yang diinginkan seperti

Tabel 2.1 Formula mencari amplitudu dan tinggi Gelombang pada Spektrum

<b>Profil Gelombang</b>	<b>Amplitudu</b>	<b>Tinggi</b>
Gelombang Rata-rata	$1,25\sqrt{m_0}$	$2,5\sqrt{m_0}$
Gelombang Signifikan	$2,00\sqrt{m_0}$	$4,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 Gelombang Tertinggi	$2,55\sqrt{m_0}$	$5,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/1000 Gelombang Tertinggi	$3,44\sqrt{m_0}$	$6,67\sqrt{m_0}$

dengan

$m_0$  = Luasan dibawah kurva spektrum (zero moment)

$$m_0 = \int_0^\infty S(\omega) d\omega \dots\dots\dots(2.53)$$

#### 2.2.7.2 Spektra Respon Bangunan Apung

Spektra respon bangunan apung adalah distribusi energi respon gerkan bangunan apung pada gelombang acak. Spektra respon ini diperoleh dari hasil perkalian antara spektra gelombang dengan RAO kuadrat. RAO merupakan respon bangunan pada gelombang reguler sehingga RAO bernilai linier sedangkan spektra gelombang merupakan parameter non linier sehingga keduanya tidak dapat dikalikan secara langsung. Untuk mengubah RAO menjadi parameter non linier maka RAO harus dikuadratkan sehingga nantinya setara dengan spektra gelombang dan dapat dikalikan. Spektra respon dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini

$$S_R = (RAO_{(\omega)})^2 \times S_{(\omega)} \dots\dots\dots(2.54)$$

Dengan :

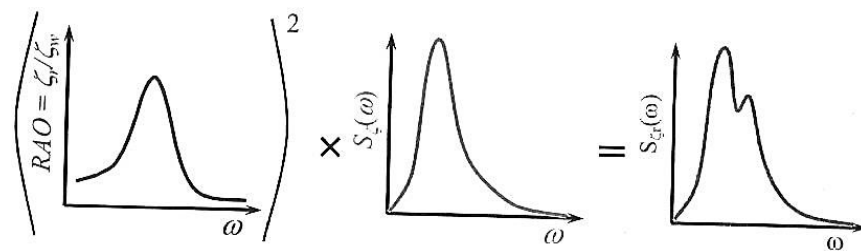
$S_R$  : Respon spektra struktur ( $m^2$ -sec)

$S_{(\omega)}$  : Spektrum gelombang ( $m^2$ -sec)

$(RAO_{(\omega)})^2$  : *Transfer function*

$\omega$  : Frekuensi gelombang (rad/sec)

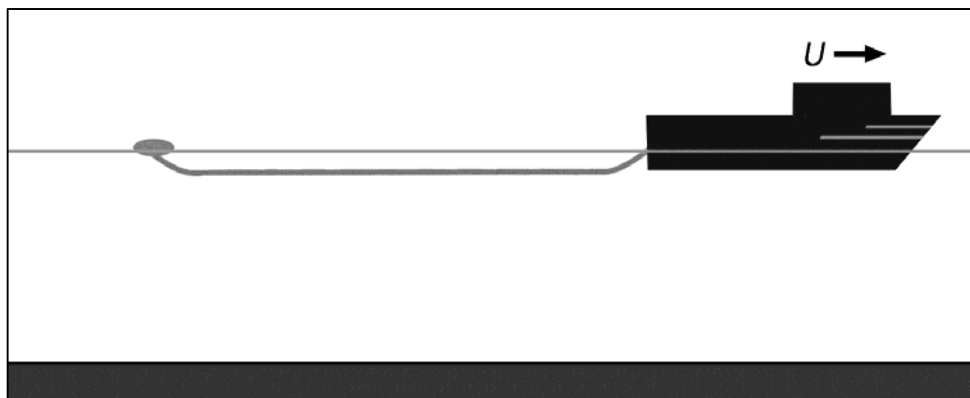
Atau juga dapat dilakukan perhitungan seperti ilustrasi transformasi grafik spektra gelombang dan RAO menjadi spektra respons pada gambar 2.17 di bawah ini



Gambar 2.17 Transformasi Spektra Gelombang menjadi Spektra Respon (Djatkiko 2003)

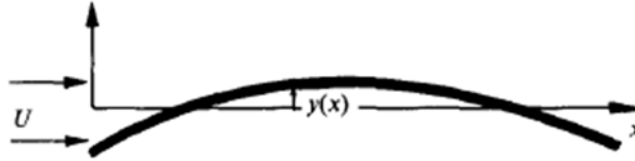
#### 2.2.8 Tegangan Kabel yang Ditarik

Pada saat kabel ditarik dengan kecepatan laju tertentu maka akan terjadi pergerakan ke arah laju kapal sehingga menimbulkan gaya inersia pada *streamer* dan seluruh peralatan survei seismik yang melekat pada rangkaian *streamer* yang kemudian mengakibatkan adanya gaya tarik yang bekerja pada kabel *streamer* (Dowling 1987). Berikut dibawah ini merupakan ilustrasi kabel yang ditarik dengan kapal yang berkecepatan laju  $U$  pada gambar 2.18.



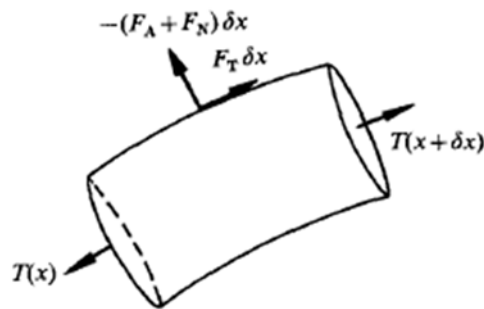
Gambar 2.18 geometri dari kapal yang menarik kabel

*Streamer* memiliki geometri berupa silinder fleksibel dengan panjang  $l_A$ , radius  $a_A$  dan ditarik ke arah  $x$  negative dengan kecepatan konstan  $U$  seperti pada gambar 2.19 berikut.



Gambar 2.19 perubahan linier dari silinder yang ditarik (sumber: Dowling 1987)

Selanjutnya digambarkan gaya-gaya yang berkerja pada kabel seperti pada gambar 2.20 di bawah ini.



Gambar 2.20 gaya yang bekerja pada elemen panjang  $\delta x$  (sumber: Dowling 1987)

Secara umum persamaan gerak dari sistem diatas adalah sebagai berikut

$$m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial t} \left( T \frac{\partial y}{\partial x} \right) - F_A - F_N + F_T \frac{\partial y}{\partial x} - B \frac{\partial^4 y}{\partial t^4} \dots \dots \dots (2.55)$$

Dengan

- $m$  = massa silinder
- $T$  = gaya tarik
- $F_A$  = gaya akibat percepatan masa tambah silinder
- $F_N$  = gaya viskos yang bekerja pada silinder pada arah normal
- $F_T$  = gaya viskos yang bekerja pada silinder pada arah tangensial
- $B$  = kekakuan bending

Persamaan untuk mencari  $F_A$  telah diteliti oleh Lighthill pada tahun 1960

$$F_A = \rho_0 \pi a_A^2 \left( \frac{\partial y}{\partial t} + U \frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 \dots \dots \dots (2.56)$$

Sedangkan untuk gaya viskos yang terjadi pada fleksibel silinder yang panjang telah di didiskusikan oleh Taylor pada tahun 1952 dengan persamaan

$$F_N = \rho_0 \pi a_A U C_N \left( \frac{\partial y}{\partial t} + U \frac{\partial y}{\partial x} \right) \dots \dots \dots (2.57)$$

$$F_T = \rho_0 \pi a_A U^2 C_T \dots \dots \dots (2.58)$$

Dengan :

$\rho_0$  : *fluid density*

$a_A$  : *radius streamer*

$U$  : *towing speed*

$C_N$  : *normal drag coeffisien*

$C_T$  : *tangensial drag coeffisien*

### 2.2.9 Tegangan normal

Tegangan normal adalah tegangan yang dapat ditimbulkan oleh gaya aksial dan juga momen lentur.

- Tegangan aksial adalah tegangan normal yang berkerja tegak lurus pada suatu bidang penampang. Tegangan aksial disebabkan oleh gaya tarik atau tekan. Persamaan tegangan aksial adalah sebagai berikut

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.59)$$

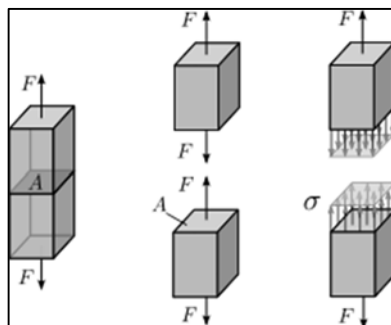
dengan:

$F$  : gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus terhadap penampang (N)

$A$  : luas penampang ( $m^2$ )

$\sigma$  : tegangan aksial (Pa)

Dibawah ini merupakan ilustrasi tegangan aksial yang diberikan pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 ilustrasi tegangan aksial

- Tegangan bending adalah resultan dari momen luar dan momen dalam yang terjadi pada struktur. Persamaan tegangan bending adalah sebagai berikut

$$\sigma = \frac{M y}{I} \dots \dots \dots (2.60)$$

dengan:

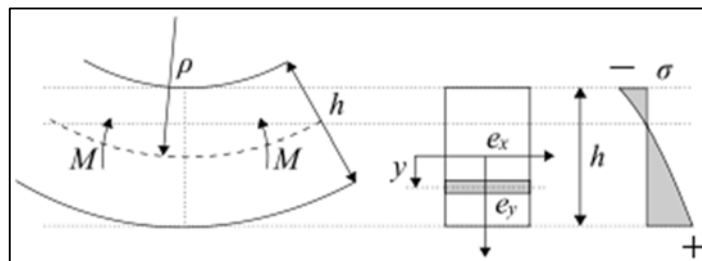
M : momen yang bekerja (N m)

y : jarak dari sumbu bidang hingga ke serat terluar (m)

I : momen inersia (m<sup>4</sup>)

σ : tegangan aksial (Pa)

Dibawah ini merupakan ilustrasi tegangan bending yang diberikan pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 ilustrasi tegangan bending

#### 2.2.10 Tegangan geser

Tegangan geser adalah tegangan yang diakibatkan oleh gaya geser yang bekerja sejajar bidang penampang. Persamaan tegangan geser adalah sebagai berikut

$$\tau = \frac{V Q}{I t} \dots \dots \dots (2.61)$$

dengan:

V : gaya geser (N)

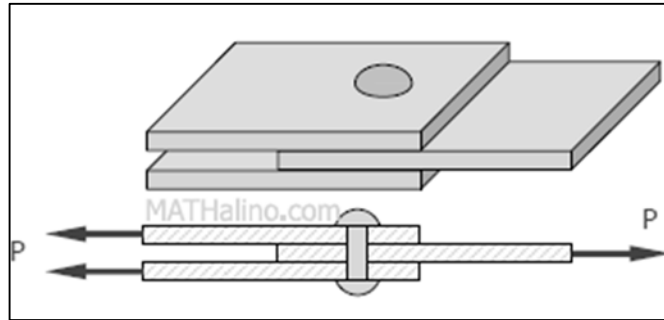
Q : momen statis dari area (m<sup>3</sup>)

I : Inersia luas bidang penampang (m<sup>4</sup>)

τ : tegangan aksial (Pa)

t : lebar balok (m)

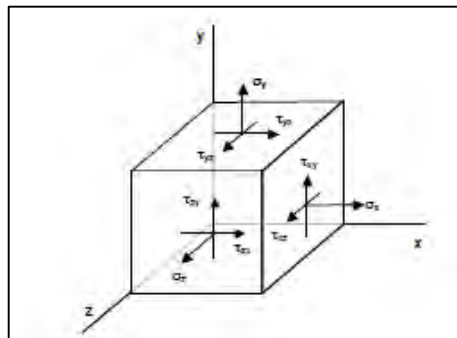
Dibawah ini merupakan ilustrasi tegangan geser yang diberikan pada gambar 2.23.



Gambar 2.23 ilustrasi tegangan geser (sumber: mathalino.com)

### 2.2.11 Tegangan von mises

Tegangan von mises adalah sebuah tegangan saklar yang merupakan hasil dari penjumlahan 6 komponen tegangan (3 komponen tegangan normal dan 3 komponen tegangan geser) atau bisa disebut juga tegangan majemuk. Dalam metode elemen hingga akan ada 6 komponen tegangan yang dihitung, namun bagaimana caranya kita membandingkan nilai tegangan yang terjadi dengan nilai dari yield stress material itu sendiri, disinilah tegangan von mises digunakan untuk mendapat satu nilai tegangan yang nantinya dapat dibandingkan dengan yield stress materialnya. Ilustrasi 6 komponen tegangan yang terjadi pada struktur disajikan pada gambar 2.24 dibawah ini.



Gambar 2.24 6 komponen tegangan pada suatu penampang 3 dimensi

Pada elemen tiga dimensi, bekerja tegangan-tegangan searah sumbu x, y, dan z. Pada tiap-tiap sumbu dapat diketahui tegangan utama ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ) yang dihitung dari komponen tegangan dengan persamaan sebagai berikut :

Tegangan maksimum yang terjadi pada struktur didapatkan dari penggabungan tegangan yang terjadi pada masing-masing arah (Gambar 2.24). Persamaan tegangan gabungan dapat dinyatakan sebagai persamaan tegangan *Von Mises* :

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}}{2} \dots\dots\dots(2.62)$$

dengan:

$\sigma_{eq}$  = tegangan ekuivalen (*von mises stress*) (Pa)

$\sigma_x$  = tegangan normal sumbu  $x$  (Pa)

$\sigma_y$  = tegangan normal sumbu  $y$  (Pa)

$\sigma_z$  = tegangan normal sumbu  $z$  (Pa)

$\tau_{xy}$  = tegangan geser bidang  $yz$  (Pa)

$\tau_{yz}$  = tegangan geser bidang  $zx$  (Pa)

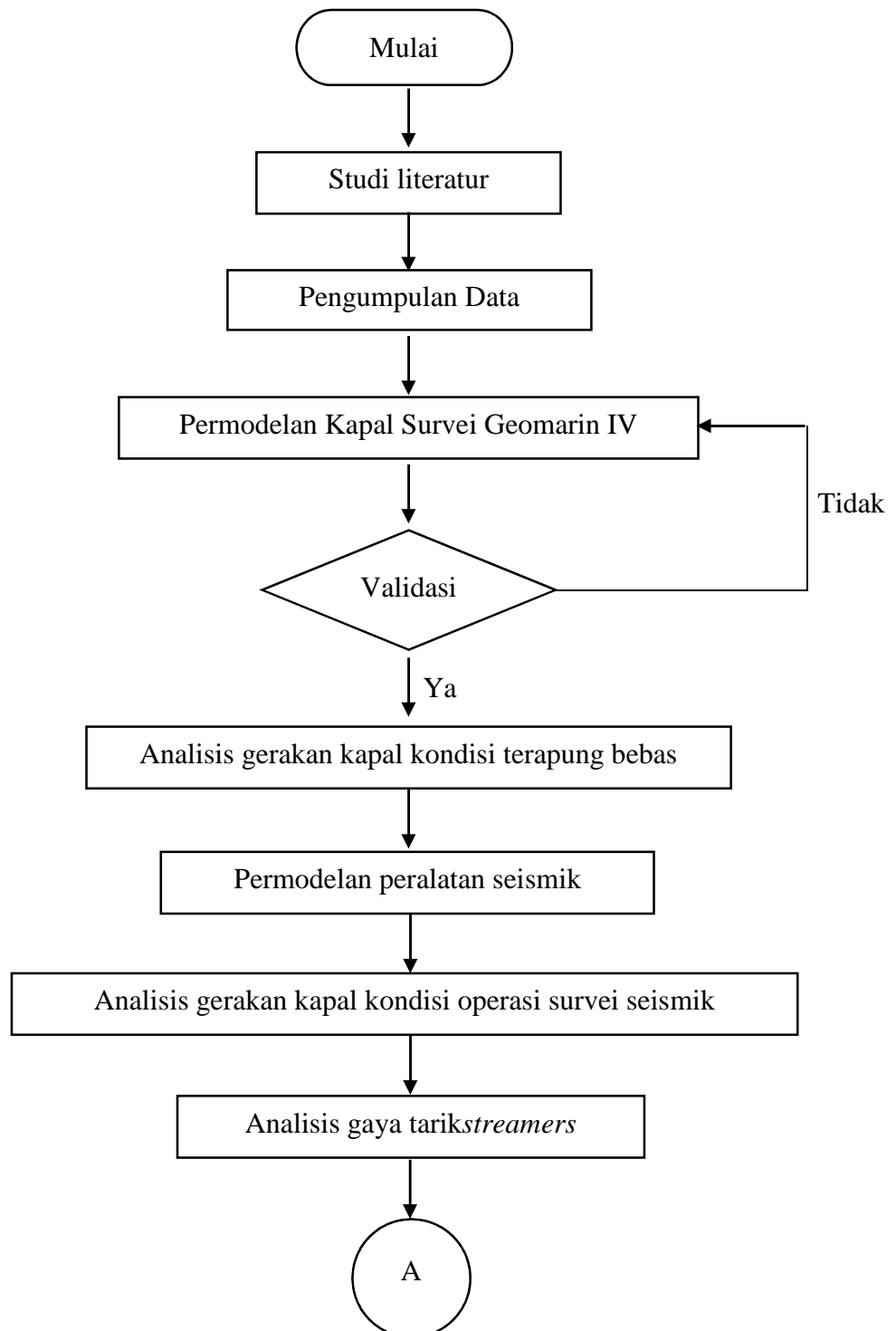
$\tau_{zx}$  = tegangan geser bidang  $xy$  (Pa)

## BAB III

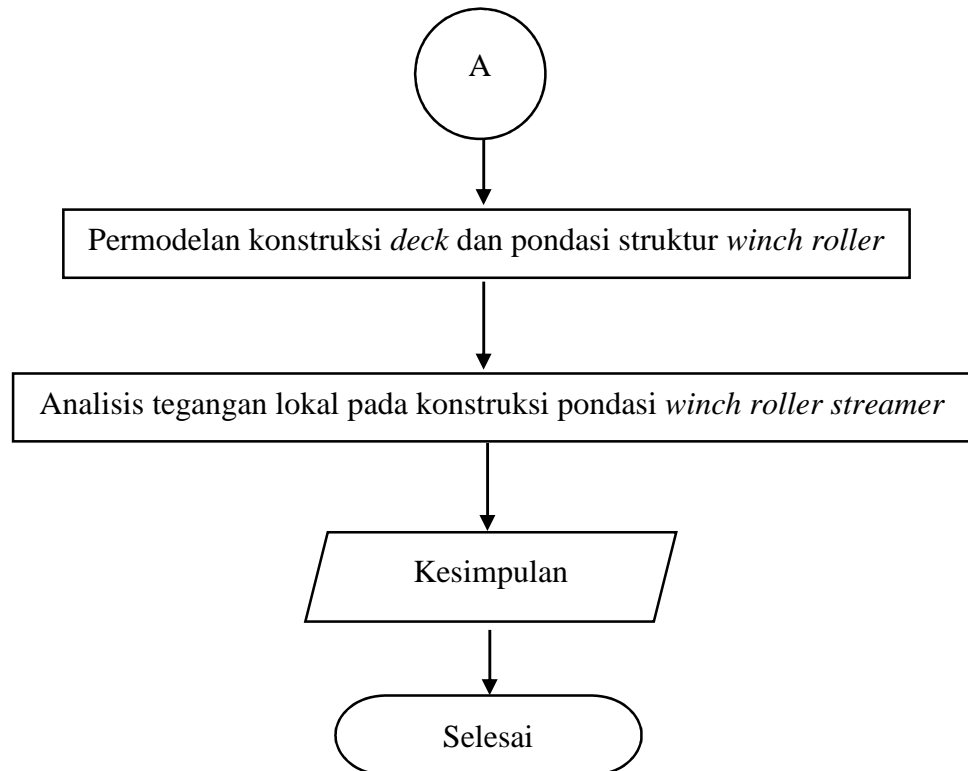
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.1 diagram alir di bawah ini:







Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir

Penjelasan diagram alir diatas dijelaskan pada langkah-langkah berikut ini :

1. Studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan mencari dan mengumpulkan referensi mengenai topik yang serupa dan nantinya akan menjadi acuan untuk mengerjakan tugas akhir yang sedang dikerjakan. Bahan yang menjadi studi literatur adalah jurnal penelitian, proceeding, buku panduan dan tugas akhir terdahulu yang sudah dibuat. Dari penelitian terdahulu akan didapatkan berbagai informasi mengenai topik yang kita angkat, bagaimana mengerjakan analisis yang serupa, dasar teori yang dibutuhkan dan data-data terkait.

2. Pengumpulan data

Untuk mengerjakan dan menyelesaikan tugas akhir ini diperlukan proses pengumpulan data. Data-data yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini antara lain adalah ukuran utama dan *general arrangement* Geomarin IV, konstruksi pondasi *winch roller streamer*, spesifikasi *streamer* dan data lingkungan beserta daetail data teknis perancangan yang diperoleh dari PT Citra Mas.

3. Permodelan kapal survei Geomarin IV

Permodelan awal Geomarin IV dilakukan dengan menggunakan *software* maxsurf untuk mendapatkan *lines plan* beserta karakteristik hidrostatisnya berdasarkan data-data yang telah didapatkan sebelumnya. Pada model yang telah jadi selanjutnya dilakukan validasi model, apakah model yang dibuat telah sesuai dengan data yang didapat dari konsultan perencana Geomarin IV. Validasi ini bertujuan agar model yang dibuat bisa mendekati kondisi nyatanya. Validasi yang benar akan menghasilkan respon gerak yang benar sehingga parameter-parameter yang akan divalidasi merupakan inputan yang akan dimasukkan untuk mendapatkan respon gerak seperti *displacement*, KB, LCB, LCF, dan WPA

4. Analisis gerakan kapal kondisi terapung bebas

Model pada maxsurf modeler yang telah dibuat selanjutnya dibuka pada maxsurf *motion* untuk dilakukan analisis RAO. Beberapa data yang menjadi inputan didalam analisis RAO menggunakan maxsurf *motion* ini antara lain adalah: titik berat, jari-jari girasi, rentang frekuensi gelombang, kecepatan kapal dan arah datang gelombang. Langkah berikutnya dilakukan *meshing* pada model kemudian di *running* untuk mendapatkan RAO. Tujuan dari langkah ini adalah untuk melakukan pengecekan atau validasi RAO.

5. Permodelan peralatan seismik

Pada tahap ini peralatan seismik yang dilepaskan ke air dimodelkan, seperti *streamer*, *tail buoy*, *airgun* dan pelampung. *Streamer* dimodelkan untuk kondisi kabel terbentang seluruhnya diatas permukaan laut dengan *tail buoy* pada ujungnya dan *airgun* dengan pelampungnya.

6. Analisis gerakan kapal kondisi operasi survei seismik

Setelah kapal survei Geomarin IV dan peralatan seismiknya dimodelkan, selanjutnya dilakukan analisis gerakan kapal saat kondisi operasi survei seismik yaitu dimana *streamer* terbentang sepanjang total 12000 meter di atas permukaan laut. Analisis ini dilakukan dengan bantuan *software* orcaflex.

7. Analisis gaya tarik *streamers*

Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan beban eksternal yang bekerja pada konstruksi *winch roller streamer* akibat gaya tarik dari *streamer* saat ditarik oleh kapal survei Geomarin IV. Analisis ini dilakukan dengan bantuan *software* orcaflex berbasis *time domain*. Nantinya gaya tarik *streamers* ini akan menjadi inputan beban untuk analisis tegangan lokal pondasi bracket.

8. Permodelan konstruksi *winch roll streamer* dan *deck*

Pada bagian ini dilakukan permodelan *deck* kapal dan konstruksi *winch roller streamer* dengan bantuan *software* ansys.

9. Analisis kekuatan pondasi *bracket*

Analisis tegangan dilakukan untuk daerah sambungan antara pondasi *bracket* dengan *deck* kapal. Analisis ini menggunakan bantuan *software* ansys *mechanical*. Selanjutnya model geometri ini diberikan properti material, dimasukan kondisi pembebanannya dan pendefinisian *boundary condition* atau *support* tumpuan. Kemudian dilakukan *meshing* dan *running* analisis tegangan lokal von mises.

### 3.2 Pengumpulan Data

Beberapa data-data yang diperlukan dan akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### 3.2.1 Data Struktur

Data utama struktur kapal survei seismik Geomarin IV yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Data utama struktur Geomarin IV

<i>Description</i>	<i>Symbol</i>	<i>Unit</i>	<i>Quantity</i>
<i>Length (Loa)</i>	Loa	m	76,2
<i>Length (Lpp)</i>	Lpp	m	69
<i>Moulded breadth</i>	B	m	14,8
<i>Moulded depth</i>	H	m	6,4
<i>Draught</i>	T	m	4,2
<i>Service Speed</i>	Vs	knot	11,5

#### 3.2.2 Data Lingkungan

Geomarin IV akan menjelajahi seluruh perairan Indonesia sehingga data lingkungan yang digunakan pada penelitian ini adalah daerah perairan yang paling

ganas namun tetap masih masuk kedalam kriteria operabilitas dari kapal dan juga peralatan seismik, yaitu di daerah perairan arafuru atau di sekitar blok masala dengan kedalaman air sekitar 437 meter. Kondisi lingkungan di daerah ini berada pada *sea state* 6 (4-5,5 meter) dengan nilai operabilitas kapal survei 50%. Data lengkap dapat dilihat pada tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 3.2 Data lingkungan laut Arafuru

Parameter		Unit	Data
Gelombang	Tinggi (Hs)	m	4,2
	Periode (Tp)	s	9,5
Angin	Kecepatan (Vw)	m/s	15,3
	Waktu Durasi	hrs	1
Arus	Kecepatan di dasar laut	m/s	0,46
	Kecepatan di permukaan	m/s	1,28

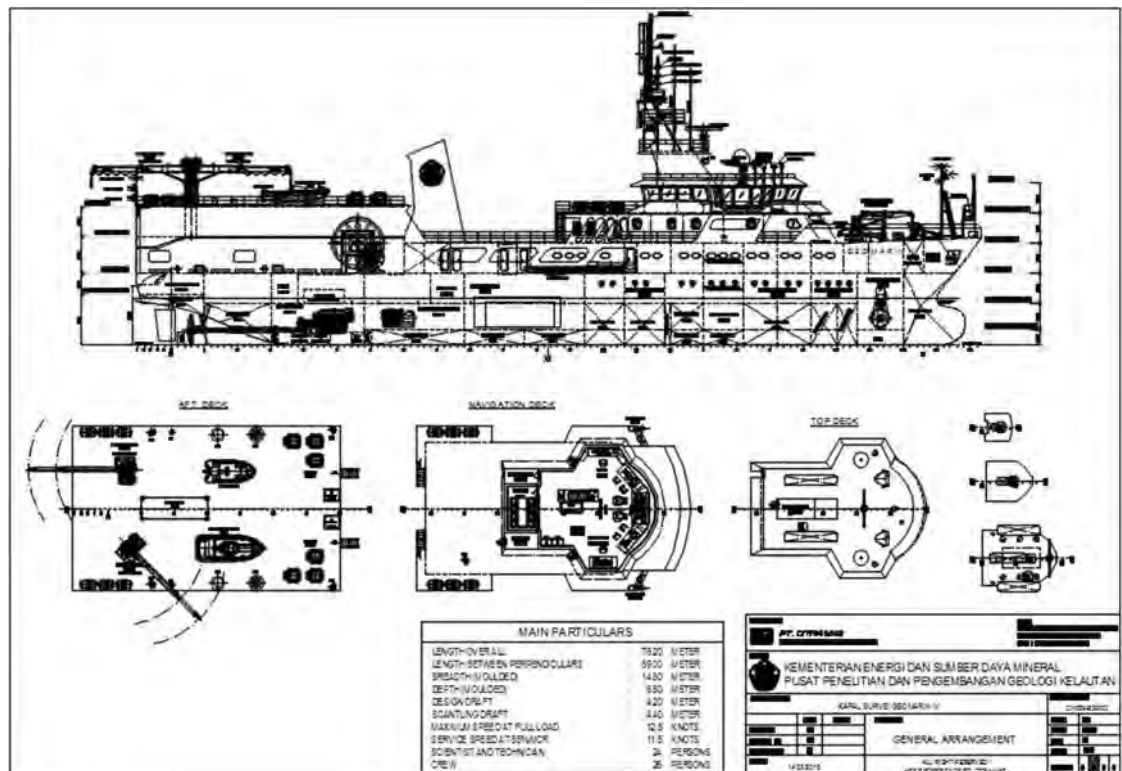
## BAB IV

## 4.1 Permodelan Struktur

Permodelan struktur yang dilakukan hanyalah permodelan struktur kapal survei Geomarin IV. Permodelan dibuat dengan menggunakan bantuan *software* maxsurf modeler dengan acuan dari data *principal dimension* dan *general arrangement* yang terdapat pada tabel 4.1 dan gambar 4.1 dibawah ini:

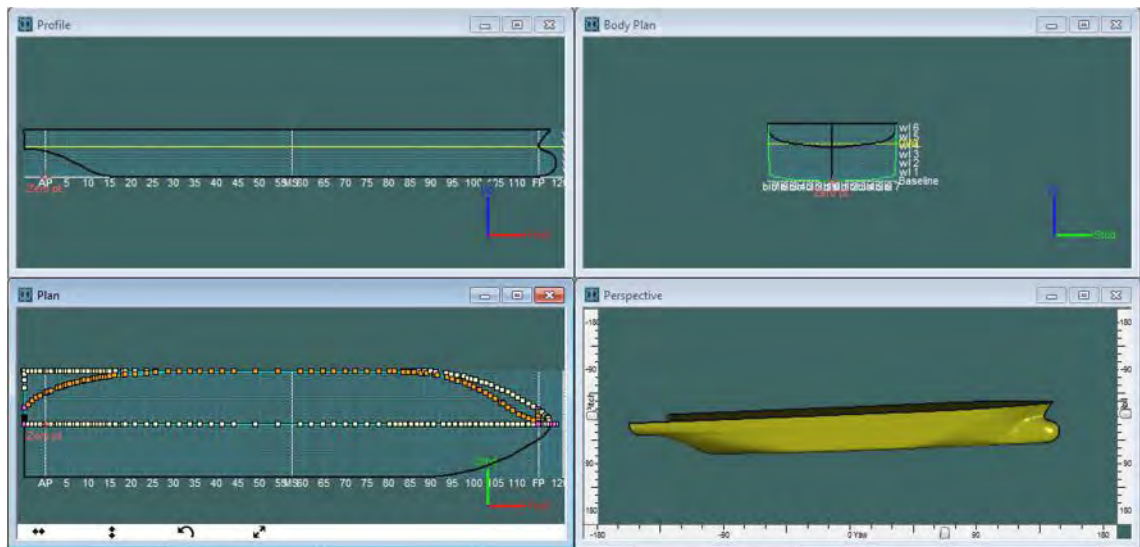
Tabel 4.1 *principal dimension*

<i>Description</i>	<i>Symbol</i>	<i>Unit</i>	<i>Quantity</i>
<i>Length (overall)</i>	Loa	m	76.2
<i>Length (Lpp)</i>	Lpp	m	69
<i>Moulded breadth</i>	B	m	14,8
<i>Moulded depth</i>	H	m	6,4
<i>Draught</i>	T	m	4,2
<i>Towing speed</i>	V	knot	5
<i>Service Speed</i>	Vs	knot	12



Gambar 4.1 *General arrangement* Geomarin IV

Selanjutnya didapatkan hasil permodelan pada *maxsurf modeler* seperti pada gambar 4.2 berikut



Gambar 4.2 Permodelan Geomarin IV pada maxsurf modeler

#### 4.2 Lines plan

Setelah dilakukan permodelan lambung kapal secara 3D pada *maxsurf modeler* maka didapatkan output berupa *lines plan* atau rencana garis kapal survei seismik dari offset yang dibentuk dengan memasukkan posisi *station*, *waterline*, dan *buttockline*. Jumlah *station* yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan pembuatan kurva agar mulus dengan jumlah 65 *station*. Jumlah *waterline* yang digunakan sebanyak 16 *waterlines* dengan selang 0,5 m. Jumlah *buttocklines* yang digunakan sebanyak 15 buah dengan selang 0,5 m. Pada gambar 4.3 dibawah ini merupakan *lines plan* Geomarin IV.



Gambar 4.3 Lines plan Geomarin IV

### 4.3 Hidrostatik

Hasil selanjutnya yang diperoleh dari permodelan kapal pada maxsurf modeler adalah data hidrostatik. Data hidrostatik ini digunakan untuk melakukan validasi model kapal yang telah dibuat dan dibandingkan dengan data hidrostatik kapal yang telah dibuat pada tahap desain awal oleh PT. Citra Mas. Validasi data hidrostatik bertujuan untuk menjamin agar model yang dibuat telah sesuai dengan aslinya sehingga gerakan model yang dianalisis juga bernilai sama dengan kapal aslinya. Beberapa data hidrostatik yang divalidasi adalah parameter-parameter yang berhubungan langsung dengan gerakan kapal (RAO) antara lain: *displacement*, *volume displacement*, LCB, LCF, KB,  $KM_T$ ,  $KM_L$ . Kriteria validasi yang digunakan diambil dari IACS “*Requirements Concerning Strength Of Ships*”. Data lengkap hidrostatik ada pada tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.2 Data validasi karakteristik hidrostatik model Geomarin IV

Parameter	Satuan	Geomarin IV	Maxsurf Modeler	Koreksi	Keterangan
<i>Displacement</i>	ton	3164	3172	0,25%	memenuhi
<i>Volume (displaced)</i>	m <sup>3</sup>	3086,829	3094,732	0,26%	memenuhi
<i>Draft Amidships</i>	m	4,2	4,2	0,00%	memenuhi
<i>WL Length</i>	m	71,8	71,84	0,06%	memenuhi
<i>Beam</i>	m	14,8	14,8	0,00%	memenuhi
<i>Wetted Area</i>	m <sup>2</sup>	1313,973	1309,627	0,33%	memenuhi
<i>Waterpl. Area</i>	m <sup>3</sup>	921,92	922,518	0,06%	memenuhi
<i>Prismatic coeff. (Cp)</i>		0,726	0,726	0,00%	memenuhi
<i>Block coeff. (Cb)</i>		0,691	0,692	0,14%	memenuhi
<i>Max Sect. area coeff. (Cm)</i>		0,954	0,955	0,10%	memenuhi
<i>Waterpl. area coeff. (Cwp)</i>		0,868	0,868	0,00%	memenuhi
<i>LCB<sub>(AP)</sub></i>	m	34,824	34,819	0,01%	memenuhi
<i>LCF<sub>(AP)</sub></i>	m	31,3	31,222	0,25%	memenuhi
<i>KB</i>	m	2,32	2,299	0,91%	memenuhi
<i>KM<sub>t</sub></i>	m	7,07	7,053	0,24%	memenuhi
<i>KML</i>	m	105,272	105,016	0,24%	memenuhi
<i>MTc</i>	ton	46,341	46,221	0,26%	memenuhi

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa koreksi perbedaan antara model dengan aslinya untuk setiap parameter hidrostatik adalah < 2%, oleh sebab itu model beserta

*lines plan* yang telah dibuat sebelumnya dapat dikatakan valid untuk digunakan ke tahapan analisi gerakan kapal pada 6 derajat kebebasan.

#### 4.4 Analisis Gerakan Kapal

Analisis ini dilakukan untuk mencari nilai *respon operator amplitudo* (RAO) kapal survei seismik Geomarin IV. Analisis RAO Geomarin IV pada kondisi *free floating* dilakukan dengan bantuan *software maxsurf motion*. Model yang telah dibuat pada maxsurf modeler langsung dapat diimport ke dalam maxsurf *motion* sehingga model tidak perlu dilakukan validasi lagi. Analisis gerakan kapal dilakukan untuk arah datang gelombang *head seas*, *following seas*, dan *following seas*. Pada *software maxsurf* konvensi arah *head seas*, *following seas*, dan *following seas* adalah  $180^\circ$ ,  $0^\circ$ , dan  $90^\circ$ . Beberapa parameter kapal yang harus dimasukan untuk mendapatkan nilai RAO antara lain draft 4.2 m, titik berat, jari-jari girasi, kecepatan kapal, dan frekuensi gelombang encounter. Data titik yang berhubungan dengan kapal ada pada tabel 4.3 berikut ini

Tabel 4.3 Titik berat Geomarin IV

<i>Displacement</i>	$LCG_{(AP)}$	TCG	VCG
3172 ton	34,83 m	0 m	4,4 m

Jari-jari girasi yang digunakan didapatkan dari pendekatan yang ada pada buku *Dynamics of Marine Vehicles* dengan nilai

$$K_{xx} = 0.33B \text{ sampai } 0.45B = 5,81 \text{ m}$$

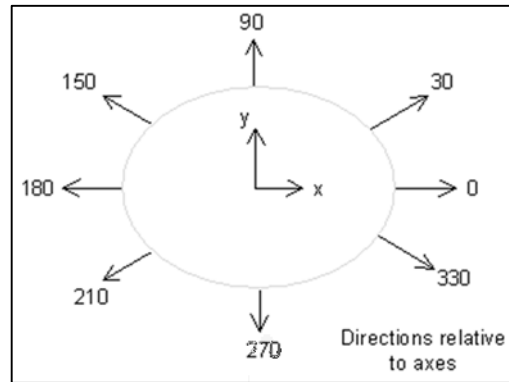
$$K_{yy} = 0.24L \text{ sampai } 0.28L = 20,76 \text{ m}$$

$$K_{zz} = 0.24L \text{ sampai } 0.28L = 20,76 \text{ m}$$

$$B = \text{Lebar Kapal (m)}, L = \text{Penjang kapal (m)}$$

Kecepatan kapal yang digunakan adalah 0 knot, dan 5 knot dengan menggunakan periode gelombang mulai dari 0,05 rad/sec hingga 2,05 rad/sec. Berikut ini pada gambar 4.4 adalah ilustrasi arah datang gelombang yang akan dianalisis

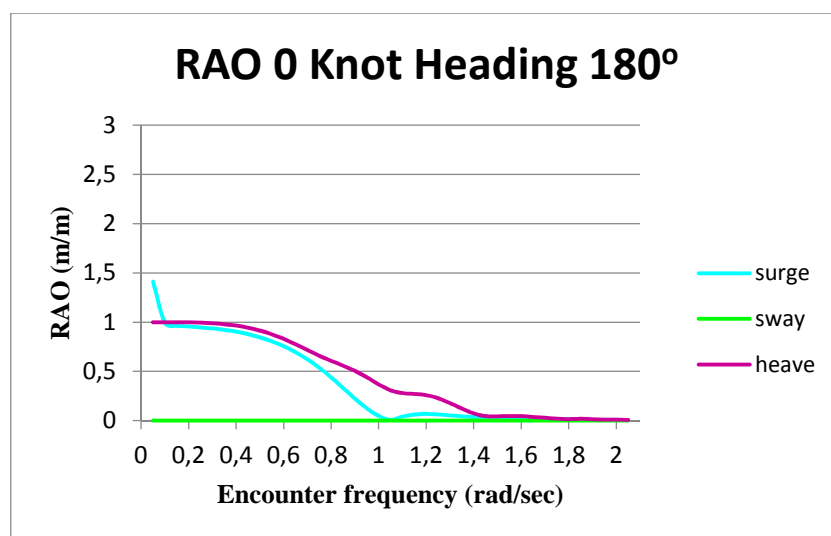




Gambar 4.4 Arah gelombang datang relatif terhadap sumbu koordinat

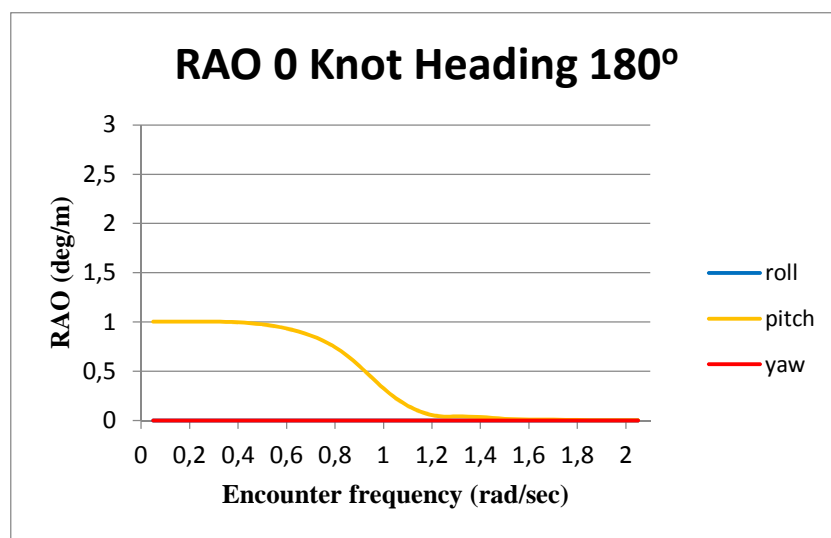
#### 4.4.1 *Response Amplitude Operator* kecepatan 0 knot (diam)

Analisis RAO untuk kondisi diam dan *free floating* tidak ada hubungan langsung dengan proses pencarian nilai gaya tarik streamer pada tugas akhir ini, tetapi hasil dari RAO *free floating* ini digunakan untuk melakukan pengecekan apakah kalkulasi RAO sudah benar atau tidak. Pengecekan RAO akan menjadi sulit jika dilakukan pada kondisi tertambat secara umum atau pada tugas akhir ini pada kondisi operasi survei seismik secara khusus. Berikut ini adalah ulasan grafik RAO model kapal survei seismik Geomarin IV pada kondisi diam. RAO untuk arah datang *head seas* ( $180^\circ$ ) disajikan dalam gambar 4.5 dan 4.6, untuk arah datang *beam seas* ( $90^\circ$ ) disajikan dalam gambar 4.7 dan 4.8, dan untuk arah datang *following seas* ( $0^\circ$ ) disajikan dalam gambar 4.9 dan 4.10.



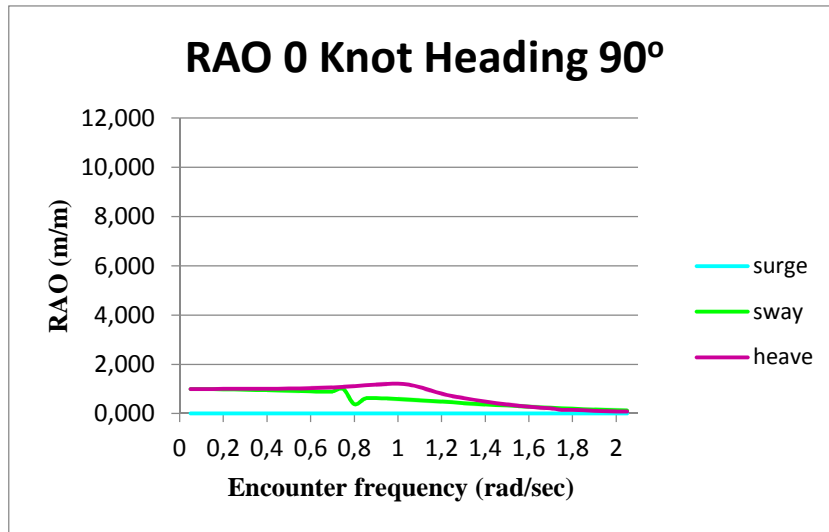
Gambar 4.5 Grafik RAO translasional kecepatan 0 knot dan *heading*  $180^\circ$

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa gerakan translasional yang paling mendominasi pada *heading* 180° adalah gerakan *heave* dan *surge* dengan nilai maksimum mendekati 1 m/m dan 1,4 m/m, sedangkan gerakan *sway* cenderung bernilai kosong. Tren kurva RAO untuk gerakan translasional ini cenderung turun seiring bertambahnya nilai encounter frekuensi. Hasil ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah depan maka seharusnya kapal bergerak ke arah sumbu x (*surge*) dan sumbu z (*heave*) sedangkan akan jarang sekali bergerak ke samping atau sumbu y (*sway*).



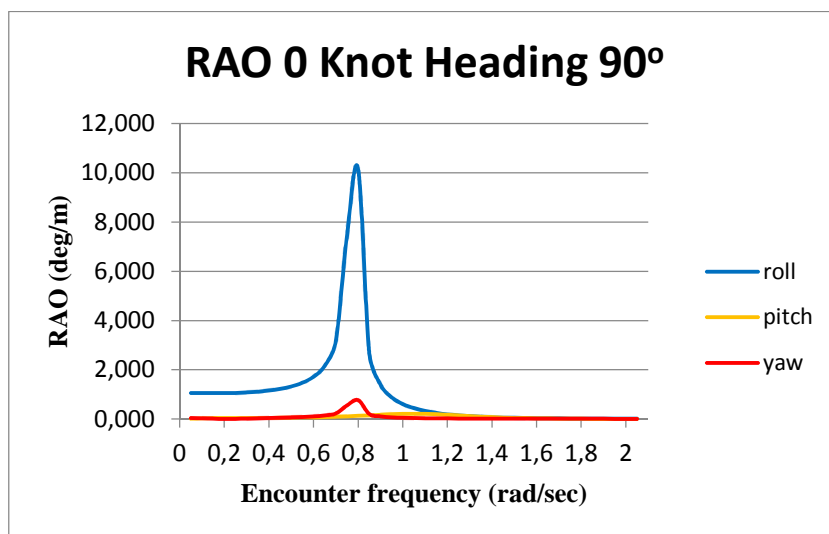
Gambar 4.6 Grafik RAO rotasional kecepatan 0 knot dan *heading* 180°

Pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa gerakan rotasional yang paling mendominasi pada *heading* 180° adalah gerakan *pitch* dengan nilai maksimum mendekati 1 deg/m, sedangkan gerakan *roll* dan *yaw* cenderung bernilai kosong. Tren kurva RAO gerakan rotasional cenderung turun seiring dengan bertambahnya nilai frekuensi. Hasil RAO ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah depan maka seharusnya gerakan rotasi kapal bergerak terhadap sumbu y (*pitch*), sedangkan gerakan terhadap sumbu lainnya (*roll*, dan *yaw*) sangat kecil.



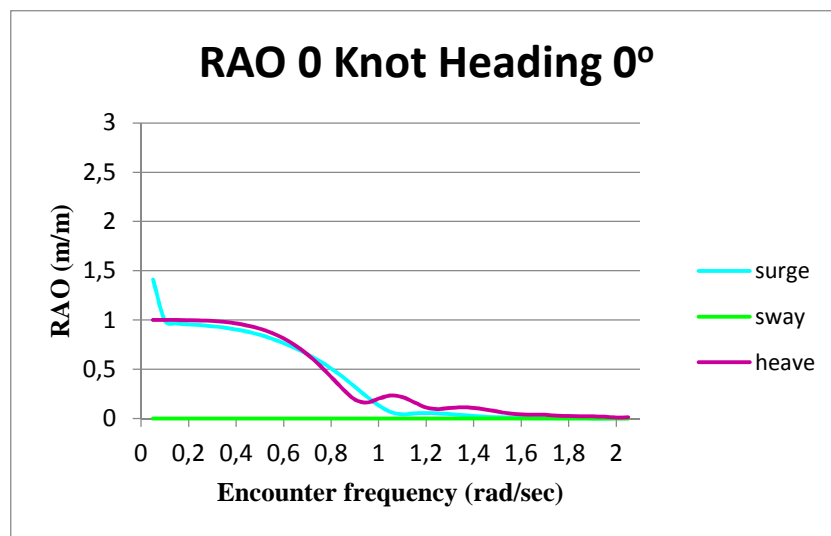
Gambar 4.7 Grafik RAO translasional kecepatan 0 knot dan heading 90°

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai *sway* dan *heave* untuk heading 90° lebih besar daripada nilai *surge* yang cenderung kosong. Gerakan *sway* dan *heave* maksimum menyentuh angka 1 m/m. Hal ini sangat logis mengingat gelombang datang dari arah samping atau dari sumbu y sehingga gerakan kapal akan bergerak kearah samping (*sway*) apakah ke arah *portside* ataupun *starboard* daripada bergerak ke arah sumbu x maju atau mundur (*surge*). Tren kurva *heave* mendatar hingga 0,6 rad/sec kemudian naik hingga pada frekuensi 1 rad/sec kemudian terus menurun sedangkan kurva *sway* cenderung menurun dengan bertambahnya nilai frekuensi encounter.



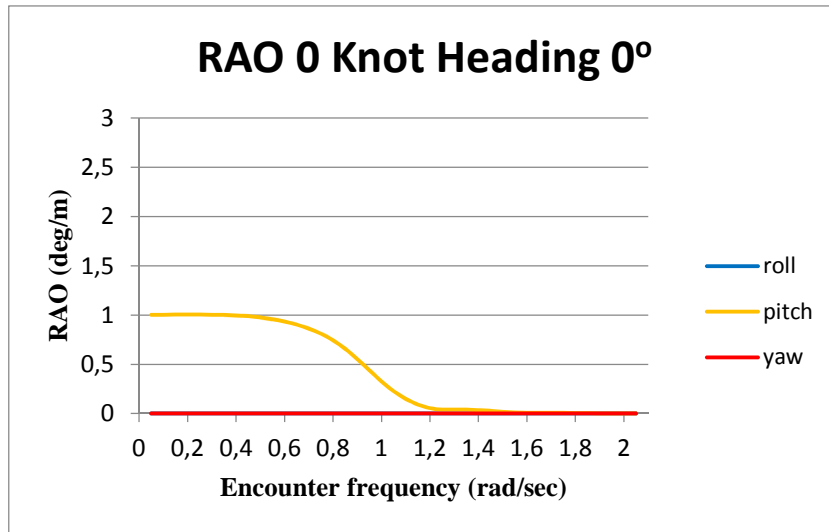
Gambar 4.8 Grafik RAO rotasional kecepatan 0 knot dan heading 90°

Pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa gerakan rotasional yang paling mendominasi pada *heading* 90° adalah gerakan *roll* dengan nilai maksimum mendekati 10 deg/m kemudian gerakan *yaw* dengan nilai maksimum mendekati 0.8 deg/m, sedangkan gerakan *pitch* cenderung bernilai kosong. Tren kurva RAO gerakan rotasional cenderung naik seiring dengan bertambahnya nilai frekuensi hingga pada frekuensi sekitar 0,8 rad/sec kemudian kurva cenderung turun. Hasil RAO ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah samping maka seharusnya gerakan rotasi kapal bergerak terhadap sumbu x (*roll*), sedangkan gerakan rotasi lainnya sangat kecil.



Gambar 4.9 Grafik RAO translasional kecepatan 0 knot dan *heading* 0°

Pada gambar 4.9 dapat dilihat bahwa gerakan translasional yang paling mendominasi pada *heading* 0° adalah gerakan *heave* dan *sway* dengan nilai maksimum mendekati 1,4 m/m, sedangkan gerakan *sway* cenderung bernilai kosong. Hasil ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah depan maka seharusnya kapal bergerak ke arah sumbu x (*surge*) dan sumbu z (*heave*) sedangkan akan jarang sekali bergerak ke samping atau sumbu y (*sway*). Tren kurva RAO untuk gerakan translasional ini cenderung turun seiring bertambahnya nilai encounter frekuensi.



Gambar 4.10 Grafik RAO rotasional kecepatan 0 knot dan *heading* 0°

Pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa gerakan rotasional yang paling mendominasi pada *heading* 0° adalah gerakan *pitch* dengan nilai maksimum 1 deg/m, sedangkan gerakan *roll* dan *yaw* cenderung bernilai kosong. Hasil RAO ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah depan maka seharusnya gerakan rotasi kapal bergerak terhadap sumbu y (*pitch*), sedangkan gerakan terhadap sumbu lainnya (*roll*, dan *yaw*) sangat kecil. Tren kurva RAO gerakan rotasional cenderung turun seiring dengan bertambahnya nilai frekuensi. Rangkuman seluruh hasil RAO pada kecepatan 0 knot pada masing-masing grafik diatas disajikan dalam tabel 4.4 berikut ini

Tabel 4.4 Nilai Maksimum RAO dengan Kecepatan 0 knot

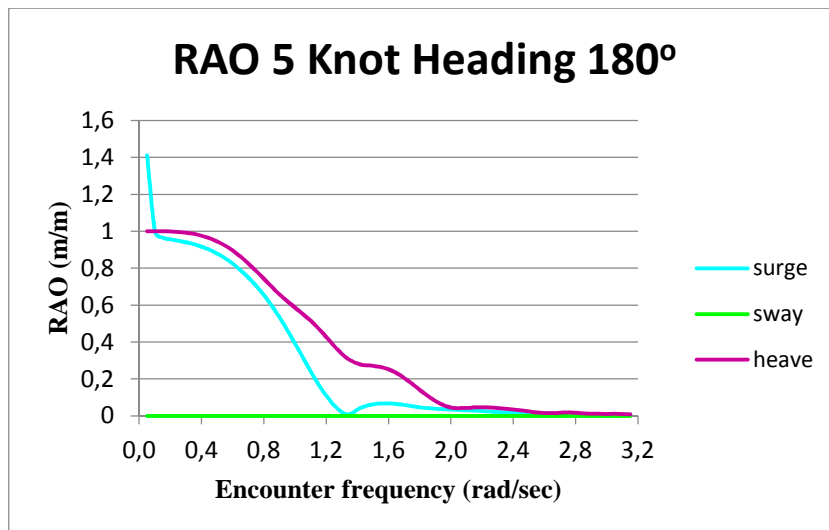
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum		
		0°	90°	180°
<i>surge</i>	m/m	1,411	0.002	1,411
<i>sway</i>	m/m	0,000	0,999	0
<i>heave</i>	m/m	1	1,121	1,000
<i>roll</i>	deg/m	0	10,151	0
<i>pitch</i>	deg/m	1,008	0,218	1,005
<i>yaw</i>	deg/m	0	0,768	0

Dari penjelasan untuk masing-masing hasil RAO Geomarin IV pada kondisi diam maka dapat dikatan hasil RAO model benar karena secara logika gerakan sudah benar. Untuk *heading* dari headseas atau followingseas seharusnya nilai RAO *surge*, *heave*, dan *pitch* lebih besar daripada nilai RAO *sway*, *yaw*, dan *roll*. Untuk

*heading* dari beamseas seharusnya nilai RAO *sway*, *heave*, dan *roll* lebih besar daripada *surge*, *pitch*, dan *yaw*.

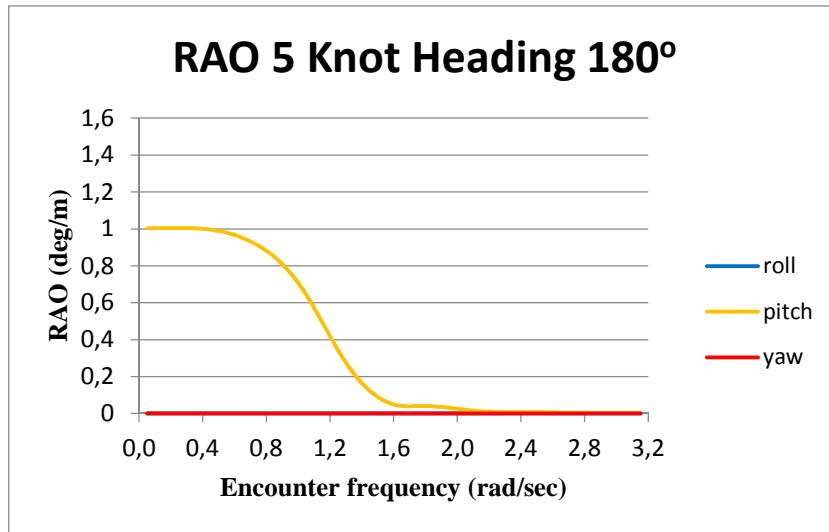
#### 4.4.2 Response Amplitude Operator kecepatan 5 knot

Analisis RAO pada kecepatan 5 knot digunakan sebagai pembandingan untuk ROA kondisi operasi survei seismik dengan kecepatan 5 knot juga. Berikut ini adalah ulasan grafik RAO model kapal survei seismik Geomarin IV pada kondisi diam. RAO untuk arah datang *head seas* ( $180^\circ$ ) disajikan dalam gambar 4.11 dan 4.12, untuk arah datang *beam seas* ( $90^\circ$ ) disajikan dalam gambar 4.13 dan 4.14, dan untuk arah datang *following seas* ( $0^\circ$ ) disajikan dalam gambar 4.15 dan 4.16 dibawah ini.



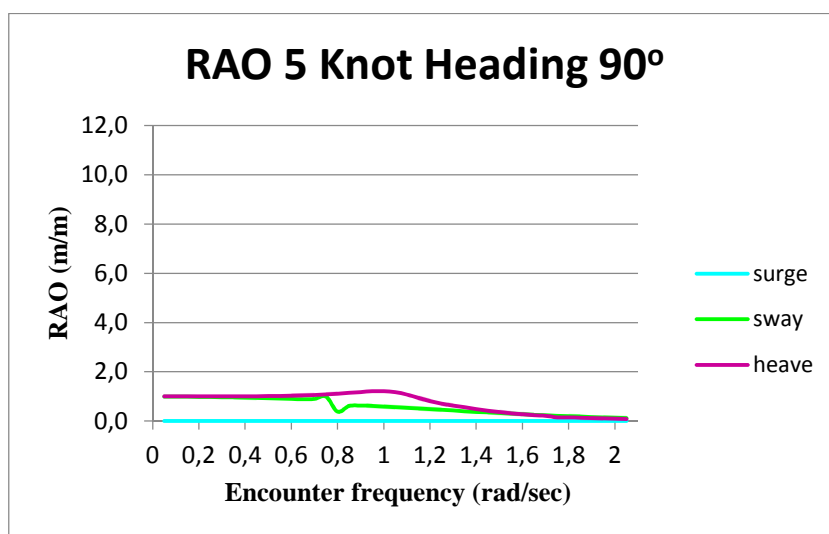
Gambar 4.11 Grafik RAO translasional kecepatan 5 knot dan *heading*  $180^\circ$

Pada gambar 4.11 dapat dilihat bahwa gerakan translasional yang paling mendominasi pada *heading*  $180^\circ$  adalah gerakan *heave* dan *surge* dengan nilai maksimum mendekati 1 m/m dan 1,4 m/m, sedangkan gerakan *sway* cenderung bernilai kosong. Tren kurva RAO untuk gerakan translasional ini cenderung turun seiring bertambahnya nilai encounter frekuensi. Hasil ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah depan maka seharusnya kapal bergerak ke arah sumbu x (*surge*) dan sumbu z (*heave*) sedangkan akan jarang sekali bergerak ke samping atau sumbu y (*sway*).



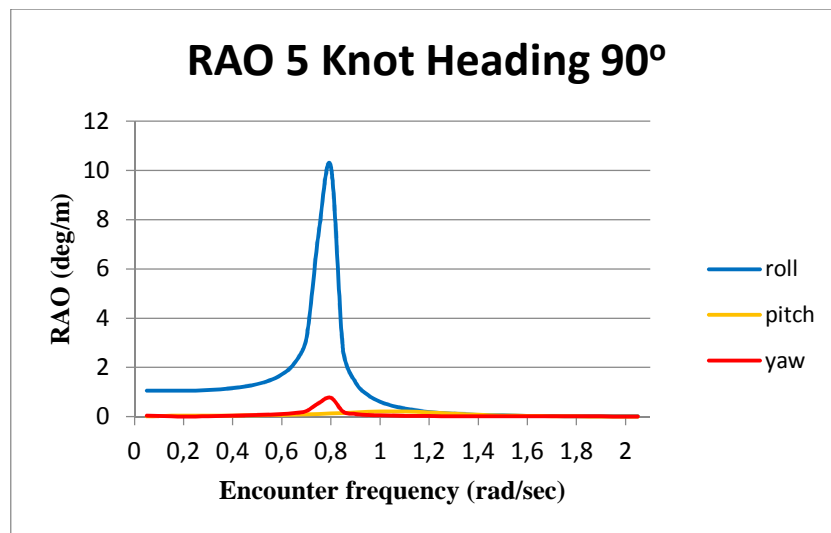
Gambar 4.12 Grafik RAO rotasional kecepatan 5 knot dan *heading* 180°

Pada gambar 4.12 dapat dilihat bahwa gerakan rotasional yang paling mendominasi pada *heading* 180° adalah gerakan *pitch* dengan nilai maksimum mendekati 1 deg/m, sedangkan gerakan *roll* dan *yaw* cenderung bernilai kosong. Tren kurva RAO gerakan rotasional cenderung turun seiring dengan bertambahnya nilai frekuensi. Hasil RAO ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah depan maka seharusnya gerakan rotasi kapal bergerak terhadap sumbu y (*pitch*), sedangkan gerakan terhadap sumbu lainnya (*roll*, dan *yaw*) sangat kecil.



Gambar 4.13 Grafik RAO translasional kecepatan 5 knot dan *heading* 90°

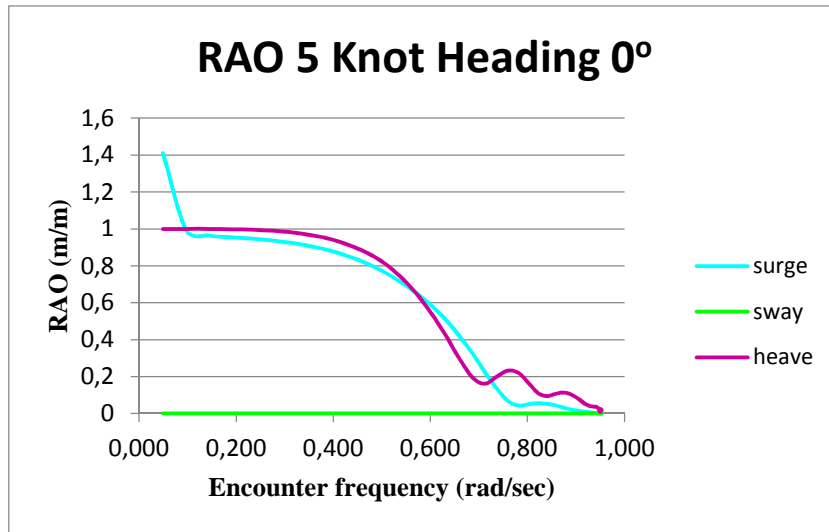
Pada gambar 4.13 dapat dilihat bahwa nilai *sway* dan *heave* untuk *heading* 90° lebih besar daripada nilai *surge* yang cenderung kosong. Gerakan *sway* dan *heave* maksimum menyentuh angka 1 m/m. Hal ini sangat logis mengingat gelombang datang dari arah samping atau dari sumbu y sehingga gerakan kapal akan bergerak kearah samping (*sway*) apakah ke arah *portside* ataupun *starboard* daripada bergerak ke arah sumbu x maju atau mundur (*surge*). Tren kurva *heave* mendatar hingga 0,6 rad/sec kemudian naik hingga pada frekuensi 1 rad/sec kemudian terus menurun sedangkan kurva *sway* cenderung menurun dengan bertambahnya nilai frekuensi encounter.



Gambar 4.14 Grafik RAO rotasional kecepatan 5 knot dan *heading* 90°

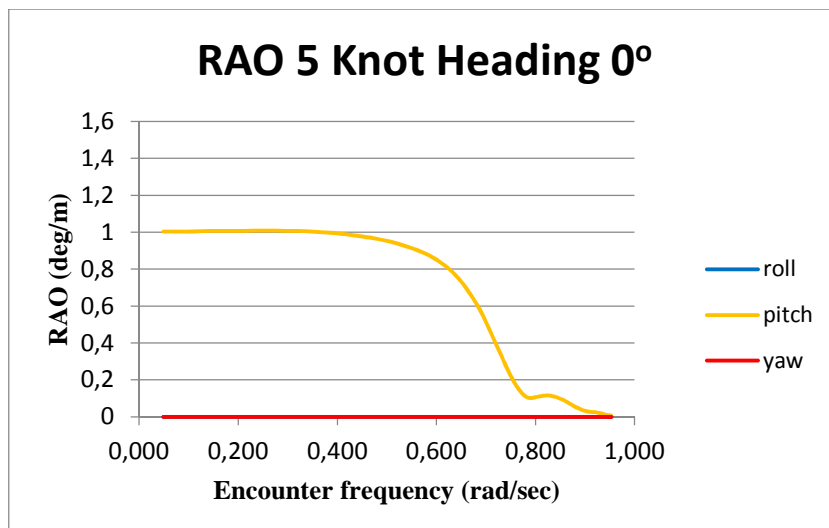
Pada gambar 4.14 dapat dilihat bahwa gerakan rotasional yang paling mendominasi pada *heading* 90° adalah gerakan *roll* dengan nilai maksimum mendekati 10 deg/m dan gerakan *yaw* maksimum mendekati nilai 0.7 deg/m, sedangkan gerakan *pitch* cenderung bernilai kosong. Tren kurva RAO gerakan rotasional cenderung naik seiring dengan bertambahnya nilai frekuensi hingga pada frekuensi sekitar 0,8 rad/sec kemudian kurva cenderung turun. Hasil RAO ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah samping maka seharusnya gerakan rotasi kapal bergerak terhadap sumbu x (*roll*), sedangkan gerakan rotasi lainnya sangat kecil.





Gambar 4.15 Grafik RAO translasional kecepatan 5 knot dan *heading* 0°

Pada gambar 4.15 dapat dilihat bahwa gerakan translasional yang paling mendominasi pada *heading* 0° adalah gerakan *heave* dan *sway* dengan nilai maksimum mendekati 1,4 m/m, sedangkan gerakan *sway* cenderung bernilai kosong. Hasil ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah depan maka seharusnya kapal bergerak ke arah sumbu x (*surge*) dan sumbu z (*heave*) sedangkan akan jarang sekali bergerak ke samping atau sumbu y (*sway*). Tren kurva RAO untuk gerakan translasional ini cenderung turun seiring bertambahnya nilai encounter frekuensi.



Gambar 4.16 Grafik RAO rotasional kecepatan 5 knot dan *heading* 0°

Pada gambar 4.16 dapat dilihat bahwa gerakan rotasional yang paling mendominasi pada *heading* 0° adalah gerakan *pitch* dengan nilai maksimum 1 deg/m, sedangkan gerakan *roll* dan *yaw* cenderung bernilai kosong. Hasil RAO ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah depan maka seharusnya gerakan rotasi kapal bergerak terhadap sumbu y (*pitch*), sedangkan gerakan terhadap sumbu lainnya (*roll*, dan *yaw*) sangat kecil. Tren kurva RAO gerakan rotasional cenderung turun seiring dengan bertambahnya nilai frekuensi. Rangkuman seluruh hasil RAO pada kecepatan 5 knot pada masing-masing grafik diatas disajikan dalam tabel 4.5 berikut ini

Tabel 4.5 Nilai Maksimum RAO dengan Kecepatan melaju 5 knot

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum		
		0°	90°	180°
<i>surge</i>	m/m	1,411	0.002	1,411
<i>sway</i>	m/m	0,000	0,999	0
<i>heave</i>	m/m	1	1,121	1,000
<i>roll</i>	deg/m	0	10,151	0
<i>pitch</i>	deg/m	1,008	0,218	1,005
<i>yaw</i>	deg/m	0	0,768	0

Berdasarkan grafik dan tabel di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 1,411 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0,999 (m/m), dan *heave* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 1,121 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 10,151(deg/m), *pitch* maksimum sebesar 1,008 (deg/m) pada *heading* 180°, dan *yaw* maksimum sebesar 0,768 (deg/m) pada *heading* 90°. Nilai-nilai RAO untuk kecepatan 5 knot mirip dengan kecepatan 0 knot namun memiliki perbedaan pada nilai frekuensi encounter untuk arah datang gelombang 0° dan 180°. Pada arah datang gelombang 0° nilai frekuensi encounter-nya lebih kecil dari kondisi diam sehingga gelombang seolah-olah lebih lama mendekati bangunan apung karena periodenya lebih besar. Pada arah datang 180° nilai frekuensi encounter-nya lebih besar dari kondisi diam sehingga gelombang seolah-olah lebih cepat mendekati bangunan apung karena periodenya lebih kecil.

#### 4.5 Permodelan Peralatan Operasi Survei Seismik

Peralatan survei seismik yang dimodelkan untuk analisis selanjutnya adalah kabel *streamer* (*Lead in* dan *streamer*), *airgun* beserta pelampungnya, *barovane*, *tail buoy* dan *nautilus*. Untuk model kapal sendiri di *software* orcaflex yang dibutuhkan dalam model drawingnya hanyalah *principal dimension* harus sesuai panjang, lebar dan tinggi saja, untuk bentuk lengkungan kapal tidak dimodelkan karena sudah diwakili oleh RAO yang diperoleh dari analisis sebelumnya. Jadi RAO dari hasil analisis sebelumnya langsung dimasukkan kedalam *software* orcaflex sebagai inputan yang mewakili bentuk dari model kapal. Oleh karena itu tidak dibutuhkan lagi validasi model kapal pada *software* orcaflex karena RAO yang digunakan 100% sama dengan RAO hasil analisis sebelumnya.

Pemodelan yang dilakukan seluruhnya adalah pada kondisi operasi survei seismik yaitu ketika *streamer* dibentangkan seluruhnya keatas permukaan laut dan ditarik dengan kecepatan 5 tarik 5 knot. Dibagian sayap kiri dan kanan kapal terdapat *barovane* yaitu perangkat keras semacam pelampung yang bertujuan untuk menjaga jarak antar kabel *streamer* tetap seperti yang diinginkan sepanjang jalur survei kapal. *Nautilus* dimodelkan tiap 100 m panjang kabel *streamer*. Seluruh pemodelan peralatan seismik menggunakan data berat benda di udara karena nanti akan otomatis dikurangi gaya apung jika benda tersebut dimodelkan tercelup air. Konfigurasi peralatan seismik akan direncanakan seperti pada gambar 4.17. Permodelan kabel *streamer* direncanakan menggunakan kabel dengan data yang terdapat pada tabel 4.6, permodelan *airgun* digunakan spesifikasi G Gun II 520, *dilt float* dan *tail buoy* disajikan pada tabel 4.7, dan data *barovane* disajikan pada tabel 4.8.

Tabel 4.6 data kabel *streamer*

Physical Characteristics	<i>Streamer</i>	Unit
Diameter	60	mm
Thickness	3	mm
Type	polyurethane	
Weight	0,0026	ton/m
Length per section	55	m

(sumber: Sercel)

Tabel 4.7 Spesifikasi *Dilt float, tail buoy, dan airgun*

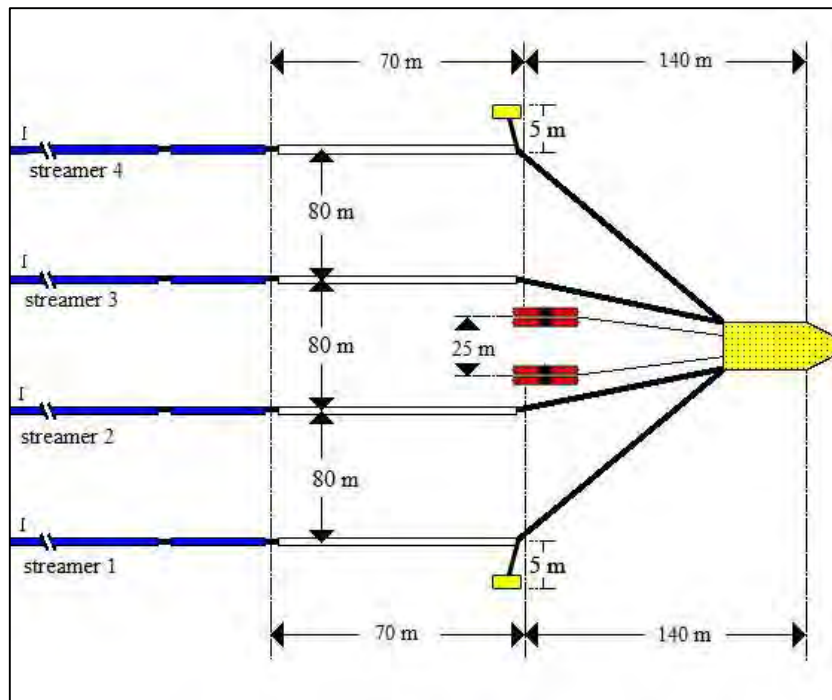
Spesification	Quantity	Unit		
		<i>Dilt float</i>	<i>Tail buoy</i>	G.Gun II
volume	L	2500	1300	8,5
length	mm	3860	3250	640
height	mm	1530	2564	292
width	mm	1200	1020	292
weight	kg	400	350	90
material	-	steel	steel	steel

(sumber: PartnerPlast & Sercel)

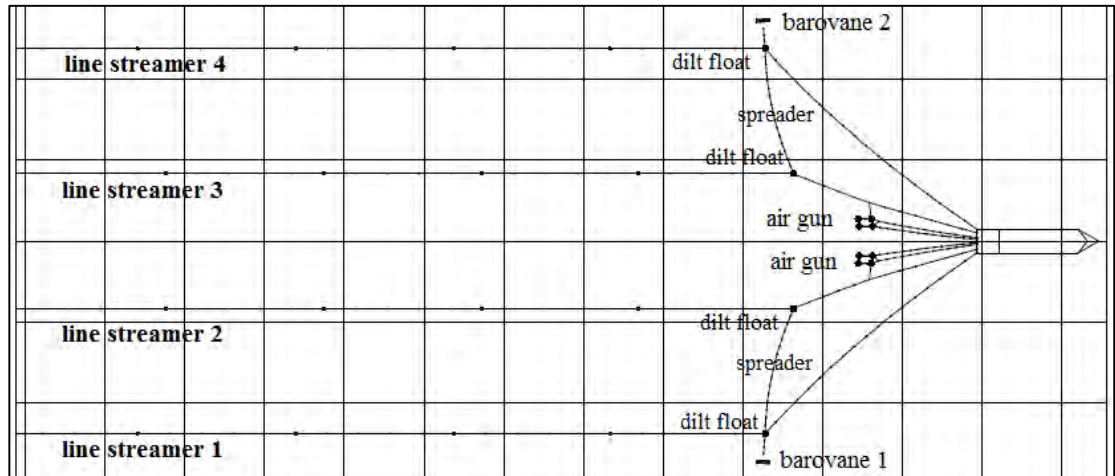
Tabel 4.8 spesifikasi *Barovane*

Spesification	Quantity	Unit	
		Floater	Wing
length	mm	8000	6500
height	mm	1200	6036
width	mm	1200	-
weight	kg	1800	4150

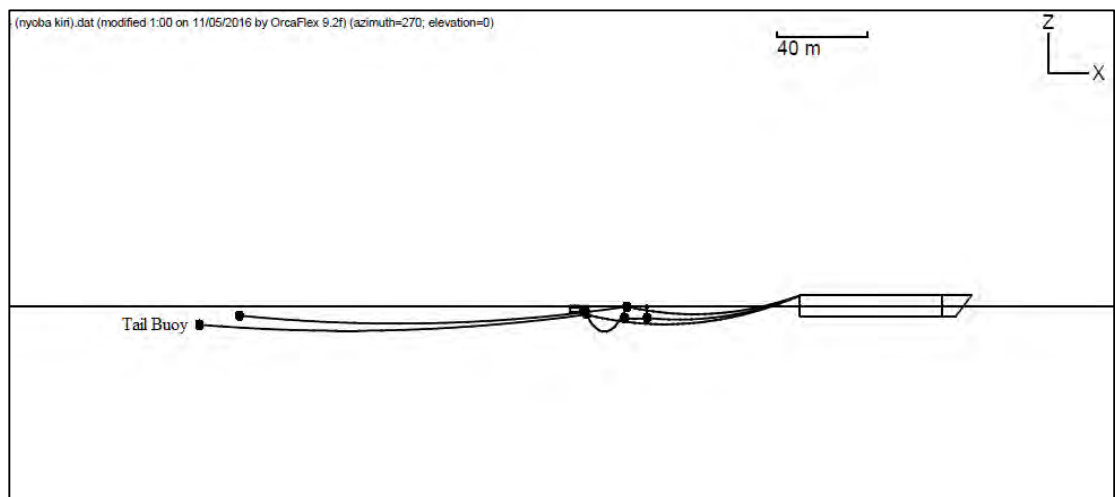
(sumber: Baro Norway)



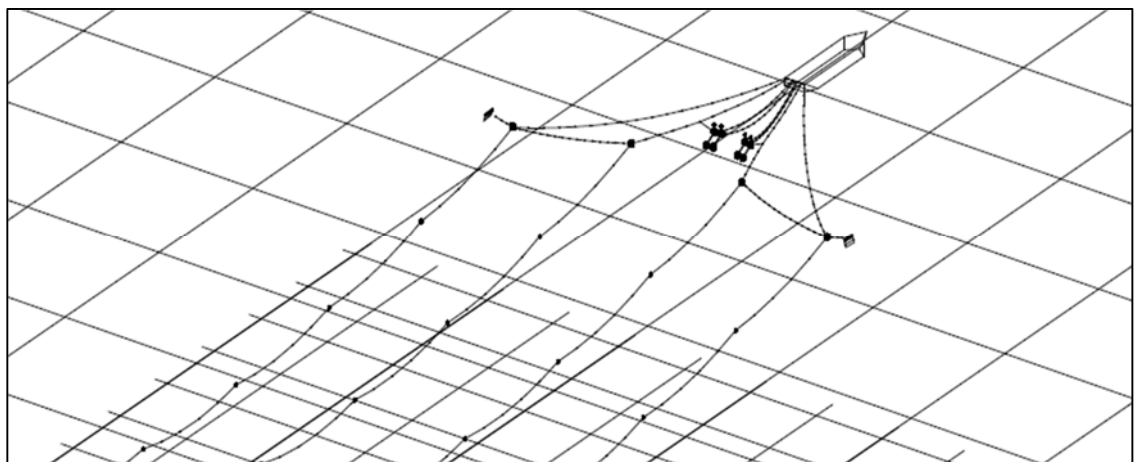
Gambar 4.17 Sketsa konfigurasi peralatan survei seismik



Gambar 4.18 Tampak atas permodelan perangkat survei seismik beserta kapal



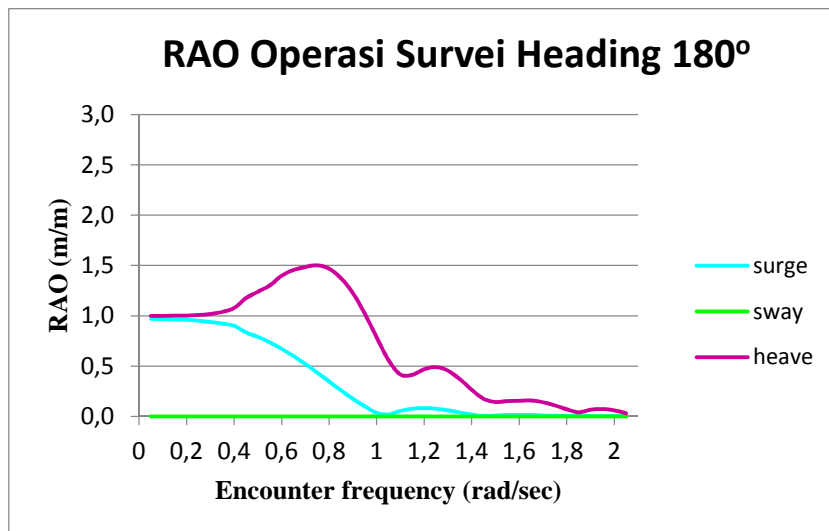
Gambar 4.19 Tampak samping permodelan perangkat survei seismik beserta kapal



Gambar 4.20 Tampak 3D permodelan perangkat survei seismik beserta kapal

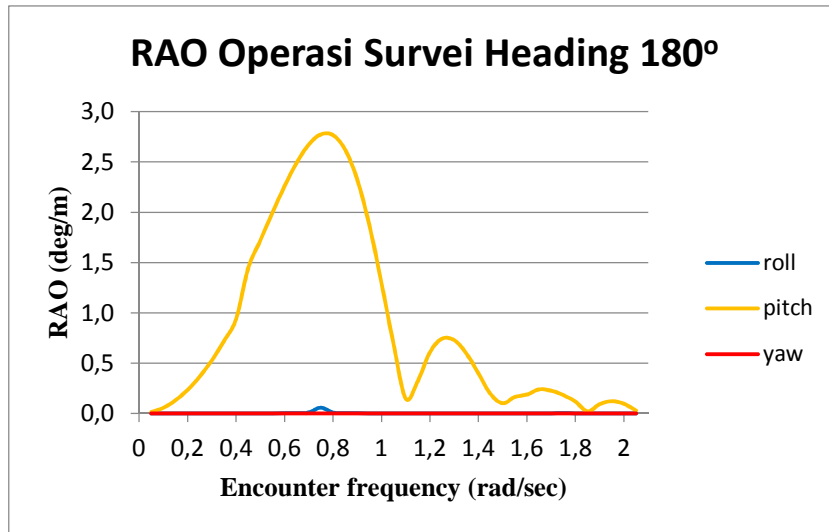
#### 4.6 Analisis Gerakan Kapal Kondisi Operasi Survei Seismik

Setelah permodelan peralatan seismik dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis gerakan kapal pada kondisi survei seismik dengan kecepatan 5 knot dan *streamer* yang terbentang seluruhnya. Parameter-parameter beserta nilainya yang dimasukkan dalam perhitungan gerakan kapal kondisi operasi survei seismik sama dengan yang digunakan pada analisis gerakan kondisi bukan survei seismik seperti pada subbab 4.4. Berikut ini adalah ulasan grafik RAO model kapal survei seismik Geomarin IV pada kondisi diam. RAO untuk arah datang *head seas* ( $180^\circ$ ) disajikan dalam gambar 4.21 dan 4.22, untuk arah datang *beam seas* ( $90^\circ$ ) disajikan dalam gambar 4.23 dan 4.24, dan untuk arah datang *following seas* ( $0^\circ$ ) disajikan dalam gambar 4.25 dan 4.26.



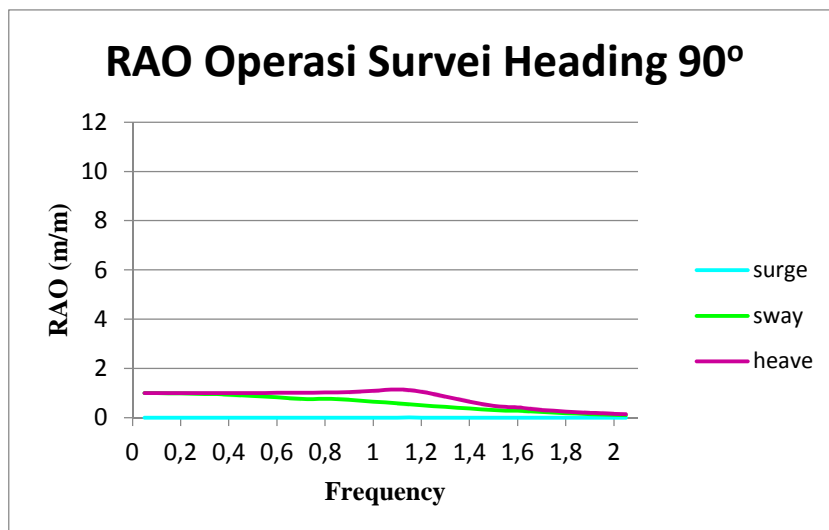
Gambar 4.21 Grafik RAO translasional kondisi operasi survei seismik dan heading  $180^\circ$

Pada gambar 4.21 dapat dilihat bahwa gerakan translasional yang paling mendominasi pada heading  $180^\circ$  adalah gerakan *heave* dan *surge* dengan nilai maksimum mendekati 1 m/m dan 1,5 m/m, sedangkan gerakan *sway* cenderung bernilai kosong. Tren kurva RAO untuk gerakan *surge* cenderung turun seiring bertambahnya nilai encounter frekuensi sedangkan untuk kurva *heave* cenderung naik turun sebanyak 4 kali. Hasil ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah depan maka seharusnya kapal bergerak ke arah sumbu x (*surge*) dan sumbu z (*heave*) sedangkan akan jarang sekali bergerak ke samping atau sumbu y (*sway*).



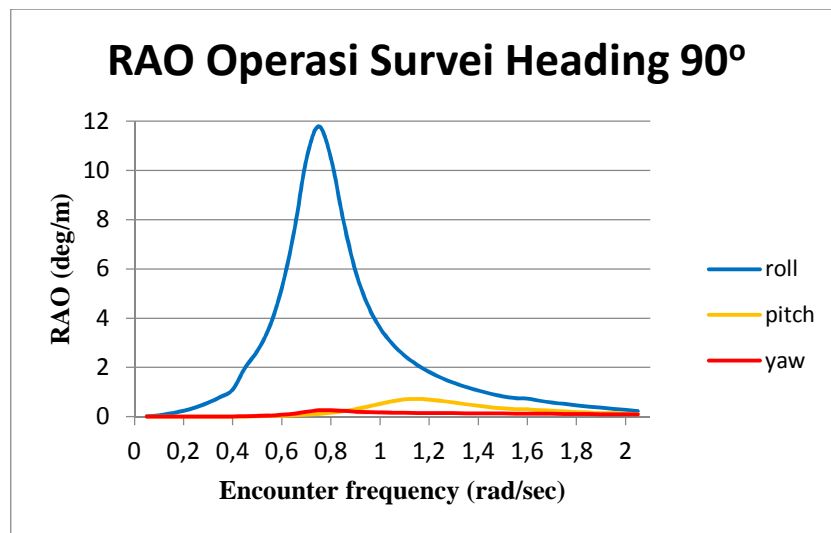
Gambar 4.22 Grafik RAO rotasional kondisi operasi survei seismik dan *heading* 180°

Pada gambar 4.22 dapat dilihat bahwa gerakan rotasional yang paling mendominasi pada *heading* 180° adalah gerakan *pitch* dengan nilai maksimum mendekati 3 deg/m, sedangkan gerakan *roll* dan *yaw* cenderung bernilai kosong. Tren kurva RAO gerakan *pitch* cenderung naik turun hingga 4 kali seiring dengan bertambahnya nilai frekuensi. Hasil RAO ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah depan maka seharusnya gerakan rotasi kapal bergerak terhadap sumbu y (*pitch*), sedangkan gerakan terhadap sumbu lainnya (*roll*, dan *yaw*) sangat kecil.



Gambar 4.23 Grafik RAO translasional kondisi operasi survei seismik dan *heading* 90°

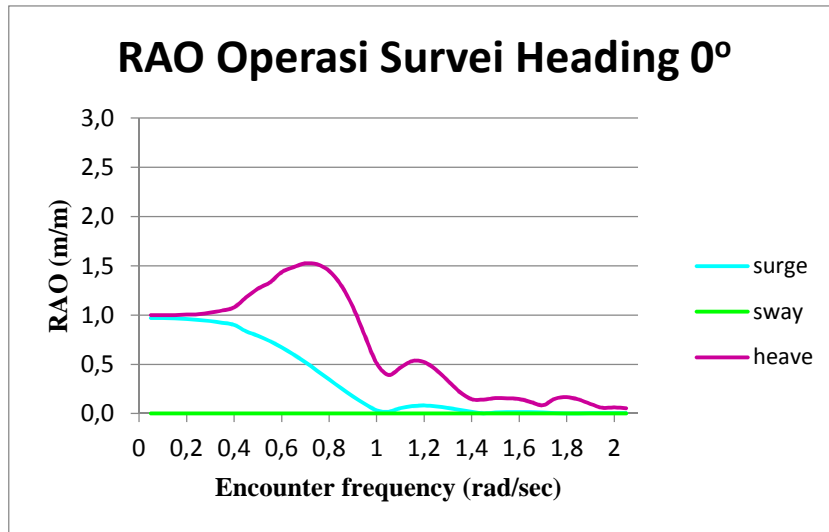
Pada gambar 4.23 dapat dilihat bahwa nilai *sway* dan *heave* untuk *heading* 90° lebih besar daripada nilai *surge* yang cenderung kosong. Gerakan *sway* dan *heave* maksimum menyentuh angka 1 m/m dan 1.14 m/m. Hal ini sangat logis mengingat gelombang datang dari arah samping atau dari sumbu y sehingga gerakan kapal akan bergerak ke arah samping (*sway*) apakah ke arah *portside* ataupun *starboard* daripada bergerak ke arah sumbu x maju atau mundur (*surge*). Tren kurva *heave* mendatar hingga 0,6 rad/sec kemudian naik hingga pada frekuensi 1 rad/sec kemudian terus menurun sedangkan kurva *sway* cenderung menurun dengan bertambahnya nilai frekuensi encounter.



Gambar 4.24 Grafik RAO rotasional kondisi operasi survei seismik dan *heading* 90°

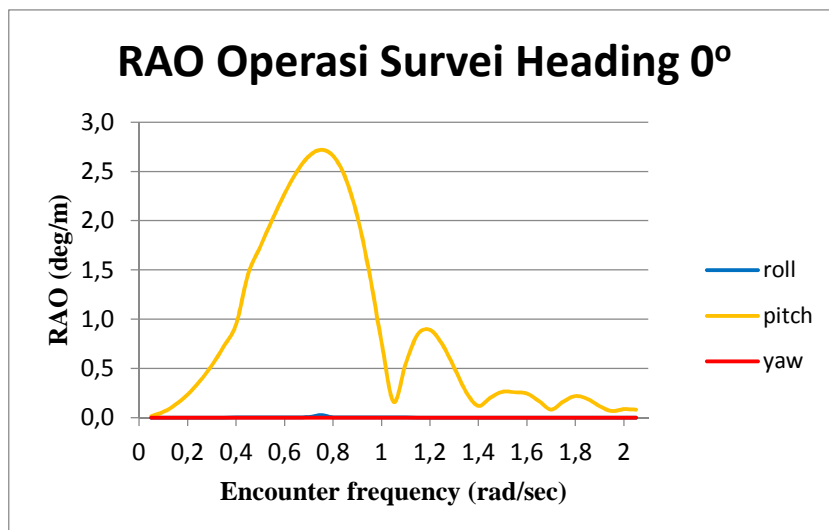
Pada gambar 4.24 dapat dilihat bahwa gerakan rotasional yang paling mendominasi pada *heading* 90° adalah gerakan *roll* dengan nilai maksimum mendekati 12 deg/m. Tren kurva RAO gerakan rotasional cenderung naik seiring dengan bertambahnya nilai frekuensi hingga pada frekuensi sekitar 0,8 rad/sec kemudian kurva cenderung turun. Hasil RAO ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah samping maka seharusnya gerakan rotasi kapal bergerak terhadap sumbu x (*roll*), sedangkan gerakan rotasi lainnya sangat kecil.





Gambar 4.25 Grafik RAO rotasional kondisi operasi survei seismik dan *heading* 0°

Pada gambar 4.25 dapat dilihat bahwa gerakan translasional yang paling mendominasi pada *heading* 0° adalah gerakan *heave* dan *surge* dengan nilai maksimum mendekati 1,5 m/m dan 1 m/m, sedangkan gerakan *sway* cenderung bernilai kosong. Hasil ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah depan maka seharusnya kapal bergerak ke arah sumbu x (*surge*) dan sumbu z (*heave*) sedangkan akan jarang sekali bergerak ke samping atau sumbu y (*sway*). Tren kurva RAO untuk gerakan translasional ini cenderung turun seiring bertambahnya nilai encounter frekuensi.



Gambar 4.26 Grafik RAO rotasional kondisi operasi survei seismik dan *heading* 0°

Pada gambar 4.26 dapat dilihat bahwa gerakan rotasional yang paling mendominasi pada *heading* 0° adalah gerakan *pitch* dengan nilai maksimum 2,7 deg/m, sedangkan gerakan *roll* dan *yaw* cenderung bernilai kosong. Hasil RAO ini dapat dikatakan benar karena secara logika saat kapal terkena gelombang dari arah depan maka seharusnya gerakan rotasi kapal bergerak terhadap sumbu y (*pitch*), sedangkan gerakan terhadap sumbu lainnya (*roll*, dan *yaw*) sangat kecil. Tren kurva RAO gerakan rotasional cenderung naik turun seiring dengan bertambahnya nilai frekuensi. Rangkuman seluruh hasil RAO pada kondisi operasi survei seismik pada masing-masing grafik diatas disajikan dalam tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.9 Nilai Maksimum RAO Pada Kondisi operasi survei seismik

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum		
		0°	90°	180°
<i>surge</i>	m/m	0,971	0,005	0,9709
<i>sway</i>	m/m	0,000	0,995	0,0003
<i>heave</i>	m/m	1,525	1,145	1,5012
<i>roll</i>	deg/m	0,025	11,792	0,0590
<i>pitch</i>	deg/m	2,719	0,725	2,7730
<i>yaw</i>	deg/m	0,000	0,266	0,0010

Berdasarkan grafik dan tabel di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 0,971 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0,995 (m/m), dan *heave* tertinggi pada *heading* 0° sebesar 1,525 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 11,792 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 2,773 (deg/m) pada *heading* 180°, dan *yaw* maksimum sebesar 0,266 (deg/m) pada *heading* 90°.

#### 4.7 Analisis Gaya Tarik Streamer

Analisis gaya tarik streamer digunakan untuk mencari nilai gaya tarik yang akan dijadikan beban pada analisis kekuatan struktur pondasi *bracket* pada konstruksi *winch roller streamer*. Analisis gaya tarik ini menggunakan *time domain* dengan waktu simulasi selama 3 jam atau 10800 detik untuk arah datang gelombang *head seas*, *following seas*, dan *following seas*. Beberapa parameter yang harus dimasukan untuk mendapatkan nilai gaya tarik pada *streamer* yang ditarik dengan

kecepatan 5 knot antara lain adalah model kapal lengkap dengan konfigurasi *streamer*, RAO kondisi survei seismik dan kondisi lingkungan laut masela.

Permodelan kapal dan RAO telah dibahas di dalam analisis pada sub bab 4.5 dan 4.6 sedangkan untuk spektra gelombang digunakan spektra gelombang jonswap dengan  $H_s$  sebesar 4.2 m, Periode 9.5 s, dan gama 1.34. Selain gelombang juga dimasukan data lingkungan lain seperti angin dengan kecepatan 15.3 m/s dan arus dengan kecepatan di dasar laut 0.46 m/s sedangkan di permukaan 1.28 m/s. Spektra Jonswap ini diperlukan untuk menghasilkan spektra respon dengan cara dikalikan dengan nilai RAO yang dikuadratkan sehingga dapat menghasilkan nilai *offset* yang akhirnya menghasilkan gaya tarik saat dikalikan dengan kekakuan. Hasil lengkap gaya tarik yang terjadi disajikan pada tabel 4.10 berikut ini.

Tabel 4.10 Nilai gaya tarik *line streamer* pada masing-masing arah datang gelombang

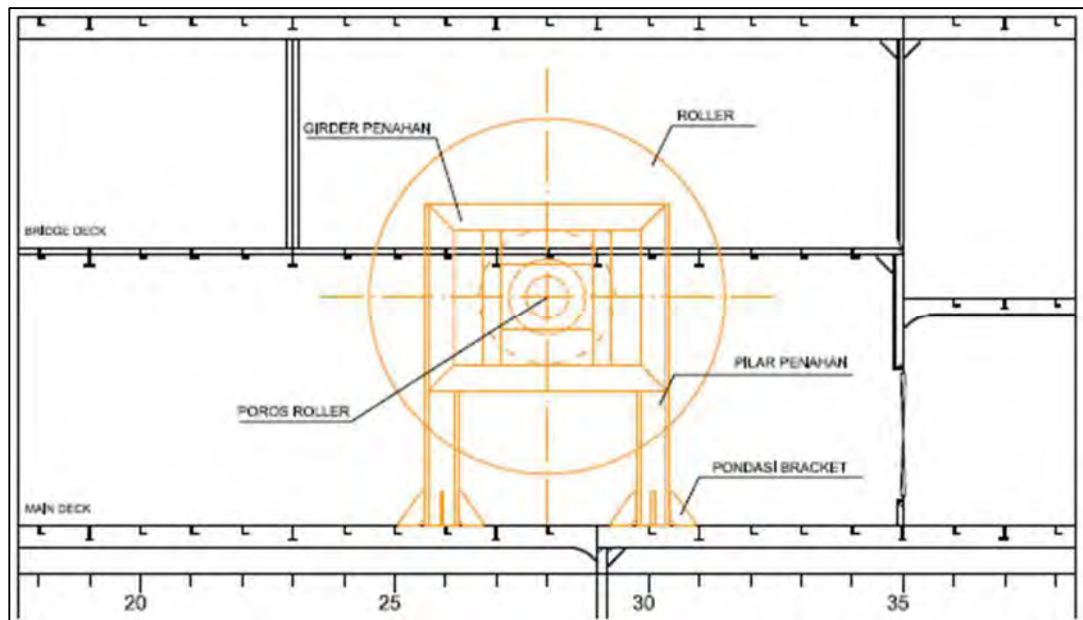
<i>Line streamer</i>	Gaya Tarik (KN)		
	0°	90°	180°
1	225,96 KN	230,63 KN	437,71 KN
2	160,49 KN	153,85 KN	182,89 KN
3	160,48 KN	147,17 KN	179,39 KN
4	225,97 KN	281,06 KN	439,7 KN

Hasil gaya tarik untuk arah pembebanan *following seas* (0°) menunjukan nilai gaya tarik yang hampir sama pada *line streamer* 1 dan 4 atau 2 dan 3, hal ini dikarenakan permodelan yang simetris. Hasil gaya tarik pada arah pembebanan *following seas* (90°) menunjukan nilai gaya tarik paling besar ada *line streamer* nomer 4 selisih 50KN dari *line streamer* nomer 1, hal ini dikarenakan pada *line streamer* 4 arah gerak *barovane* 2 dan gelombang satu arah sehingga menjadi superposisi sedangkan pada *line streamer* 1 arah gerak *barovane* dan gelombang berlawanan sehingga sedikit berkurang tensionnya. Hasil gaya tarik pada arah pembebanan *head seas* (180°) menunjukan hasil yang serupa dengan arah pembebanan 0° hanya saja nilainya lebih besar dan selisih hasilnya antara *line streamer* 1 dengan 4 dan 2 dengan 3 sebesar 2-3 KN. Secara keseluruhan gaya tarik dari *line streamer* no 1 dan 4 lebih besar nilainya dari *line streamer* 2 dan 3, hal ini dikarenakan pada *line streamer* 1 dan 4 terhubung dengan *barovane* dan *line*

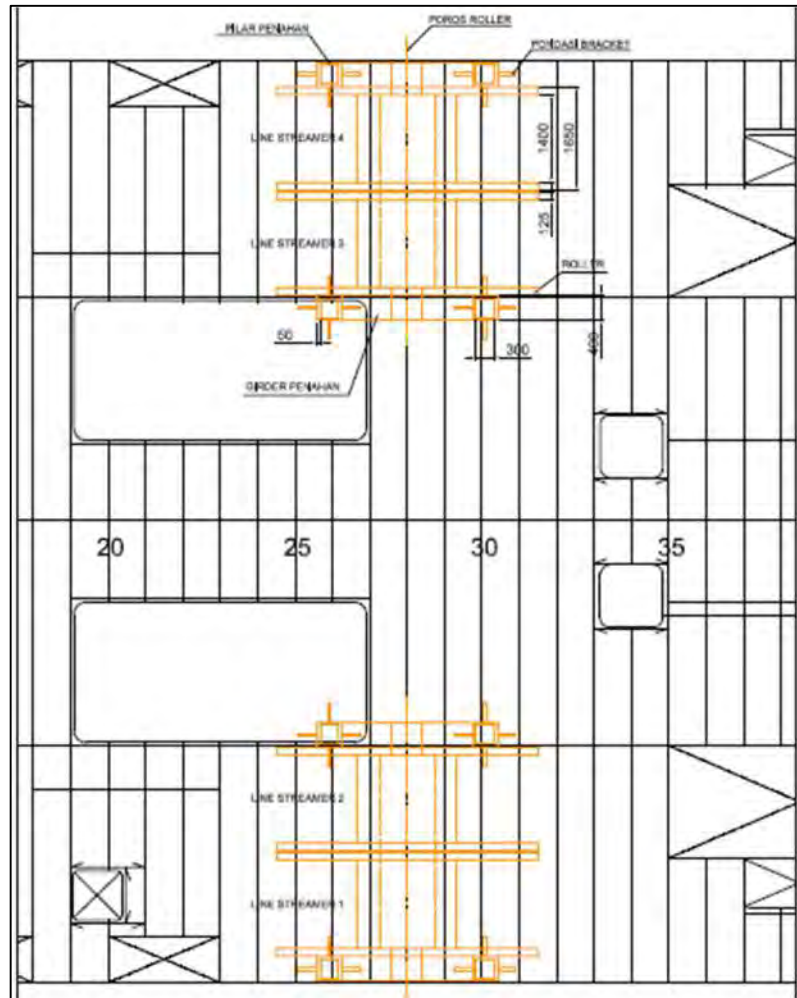
tersebut juga terhubung dengan *line streamer* 2 dan 3 menggunakan *spreader* untuk menjaga posisi *streamer*. Oleh karena itu *line streamer* 1 dan 4 menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan *line* 2 dan 3 sehingga dapat dikatakan logis bahwa nilai gaya tarik *line* 1 dan 4 bisa lebih besar dari *line streamer* 2 dan 3.

#### 4.8 Permodelan konstruksi *Winch Roller Streamer*

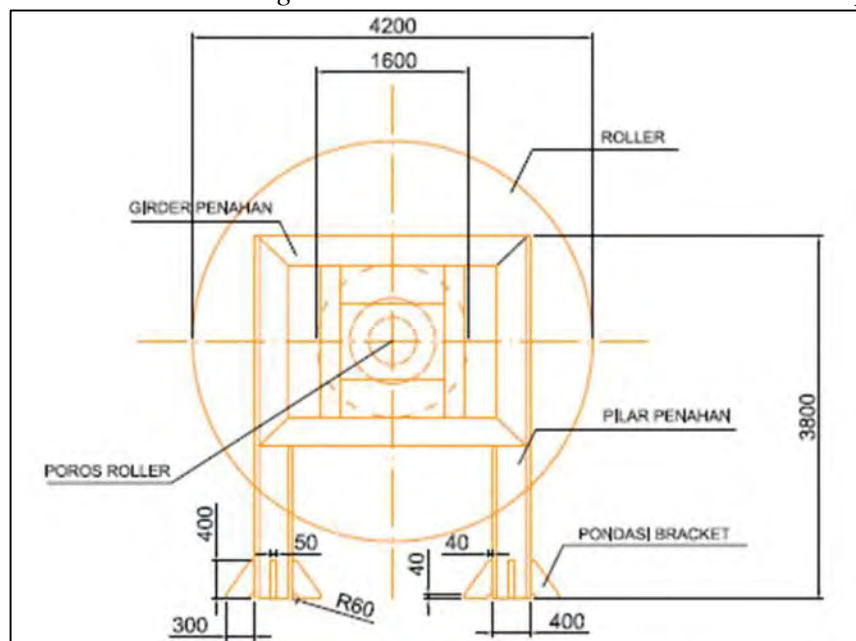
Sebelum melakukan analisis kekuatan lokal maka sebelumnya didahului dengan permodelan 3D konstruksi *winch roller streamer* beserta sebagian struktur *deck*. Sesuai dengan *general arrangement* Geomarine IV, konstruksi *winch roller streamer* berada di *main deck* pada *frame* 26-30 dengan jarak antar *frame* 0,6 m tetapi permodelan yang dilakukan adalah mulai dari *frame* 15 hingga 36 untuk mendapatkan 2 *bulkhead* yang akan dijadikan tumpuan. Karena bentuknya simetris maka konstruksi *winch roller streamer* yang dimodelkan hanya pada satu bagian kapal saja yakni pada bagian *portside*. Secara melintang permodelan dilakukan mulai dari sisi lambung *portside* kapal hingga ke *centerline*. Detail lebih lanjut dapat dilihat pada gambar 4.27 sampai 4.33 di bawah ini.



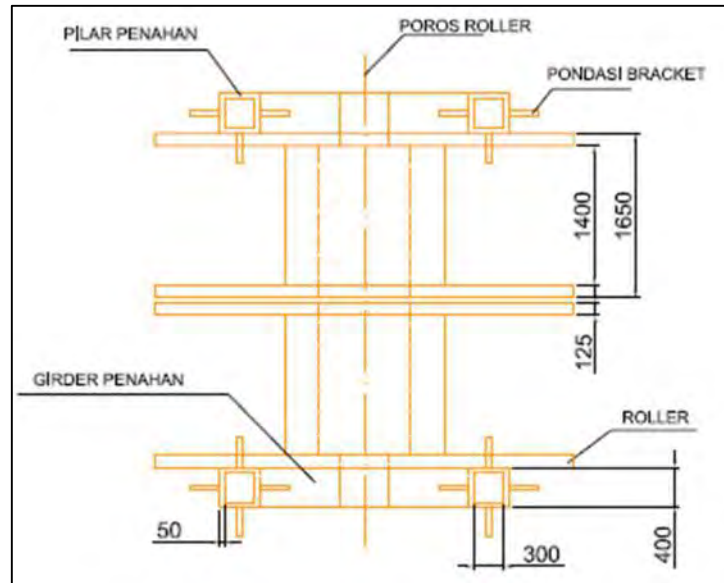
Gambar 4.27 *General arrangement* konstruksi *winch roller streamer* tampak samping



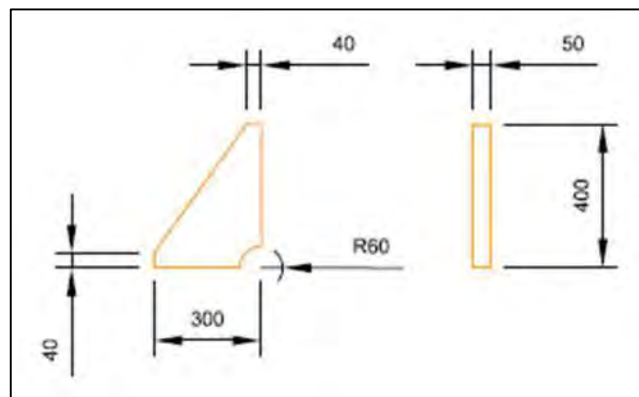
Gambar 4.28 *General arrangement* konstruksi winch roller streamer tampak atas



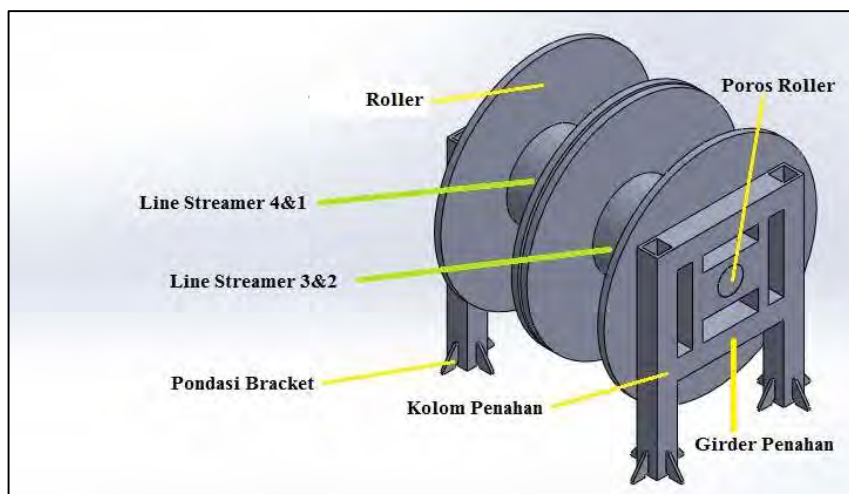
Gambar 4.29 Detail 2D konstruksi winch roller streamer tampak samping



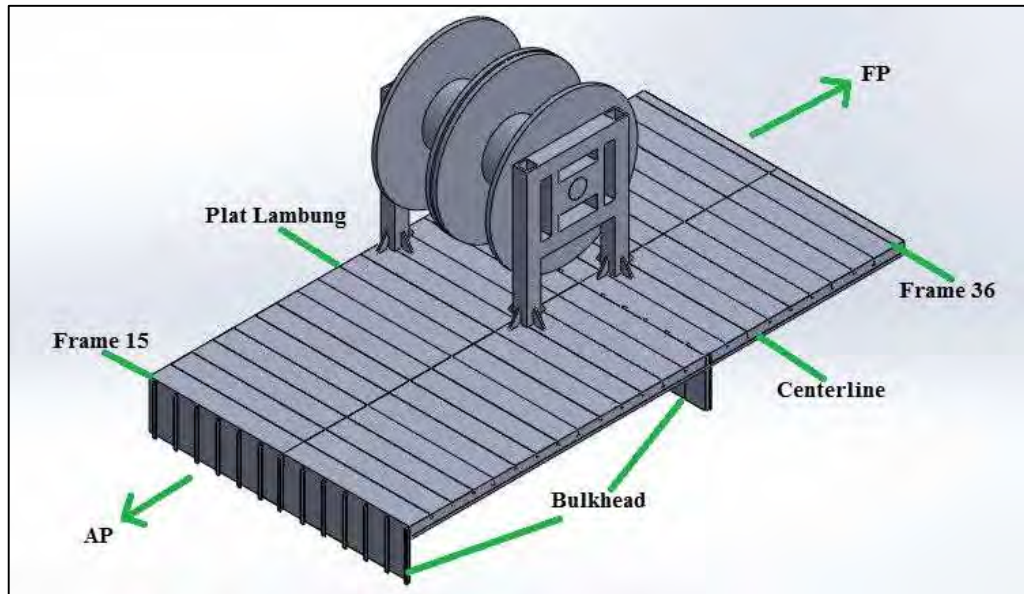
Gambar 4.30 Detail 2D konstruksi *winch roller streamer* tampak atas



Gambar 4.31 Gambar 2D struktur pondasi *bracket*



Gambar 4.32 Model 3D konstruksi *winch roller streamer*



Gambar 4.33 Model 3D konstruksi *winch roller streamer* dan struktur *main deck*

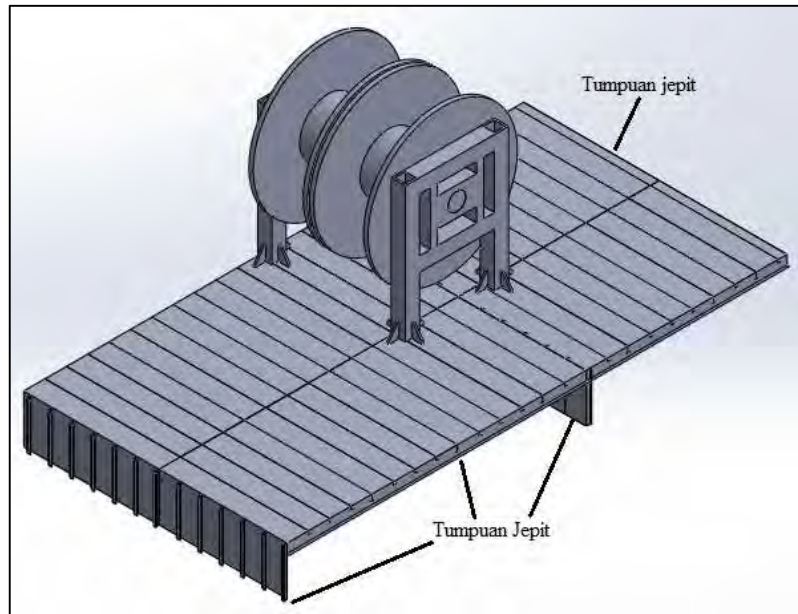
#### 4.9 Analisis Kekuatan Pondasi *Bracket*

Analisis kekuatan struktur pondasi *bracket* pada konstruksi *winch roller streamer* dilakukan dengan bantuan *software* berbasis metode numerik elemen hingga. Setelah dilakukan permodelan, selanjutnya perlu didefinisikan kondisi batas, gaya-gaya yang bekerja pada model, dan terakhir adalah *meshing* untuk membagi model menjadi elemen-elemen kecil dengan ukuran tertentu.

##### 4.9.1 Kondisi Batas

Dalam proses analisis kekuatan struktur menggunakan metode elemen hingga harus didefinisikan kondisi batas atau yang biasa dikenal dengan tumpuan apakah itu berupa jepit, sendi, ataupun *roll*. Pada analisis kali ini bagian bawah *bulkhead* diberikan tumpuan jepit karena memang fungsi *bulkhead* selain untuk sekat juga untuk penyangga *deck* secara melintang. Pada sepanjang *girder* memanjang di bagian *centerline* diberikan juga tumpuan jepit karena merupakan *girder* terbesar yang dianggap kuat. Di bagian depan *deck* pada potongan plat akhir diberikan tumpuan jepit karena, tumpuan jepit dianggap dapat mewakili interaksi gaya-gaya dalam yang terjadi secara global. Detail tumpuan untuk model dapat dilihat pada gambar 4.32 berikut ini.

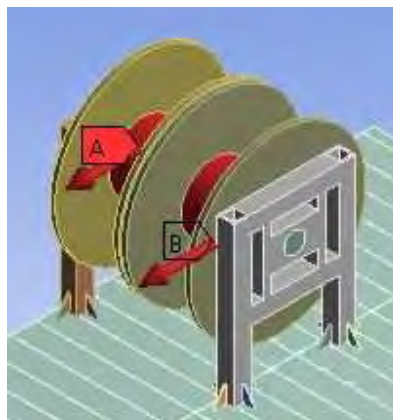




Gambar 4.34 Penjelasan kondisi batas model 3D konstruksi *winch roller streamer*

#### 4.9.2 Pembebanan

Gaya-gaya yang bekerja pada masing-masing *roller* adalah berupa gaya tarik yang telah didapat pada sub bab 4.7 yaitu gaya tarik *line* 1&2 (431,71 KN & 182,89 KN) atau pasangan kanan dan *line* 3&4 (179,39 KN & 439,7 KN) atau pasangan kiri. Satu pasang pilar penahan menahan 2 *roller* sehingga pembebanannya dilakukan berpasangan. Untuk masing-masing pasangan *line* dilakukan analisis kekuatan sendiri-sendiri karena perbedaan nilai dari masing-masing pasangan *line* sangat tipis. Pembebanan yang dilakukan otomatis sudah termasuk beban berat dari konstruksi *winch roller streamer* seberat 120 ton tanpa perlu didefinisikan ulang. Pada gambar 4.33 dibawah ini adalah ilustrasi pembebanan pada model 3D.



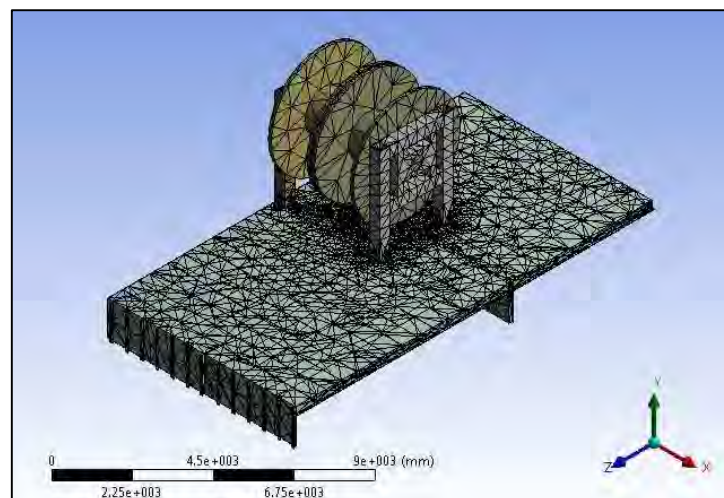
Gambar 4.35 Ilustrasi kondisi pembebanan pada *roller*



Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa untuk garis A yang dimasukan adalah gaya tarik dari *line streamer* 1 atau 4 sedangkan untuk garis B yang dimasukan adalah gaya tarik *line streamer* 2 atau 3.

#### 4.9.3 Meshing

Setelah mendefinisikan beban dan kondisi batas maka selanjutnya dilakukan *meshing* pada model 3D konstruksi *winch roller streamer*. *Meshing* merupakan proses pembagian struktur menjadi elemen-elemen kecil sesuai dengan ukuran pembagian yang diinginkan (Pratiwi 2013). *Meshing* berfungsi sebagai media pendistribusian tegangan pada elemen-elemen tersebut. Semakin kecil ukuran *meshing* maka idealnya semakin baik pendistribusian tegangan tetapi memakan waktu yang lebih lama dari ukuran *meshing* yang lebih besar. Ukuran *meshing* diharapkan tidak terlalu besar atau terlalu kecil agar mendapatkan hasil yang baik dengan waktu yang effsien. Berikut pada gambar 4.34 adalah hasil *meshing* dari kosntruksi *winch roller streamer*.



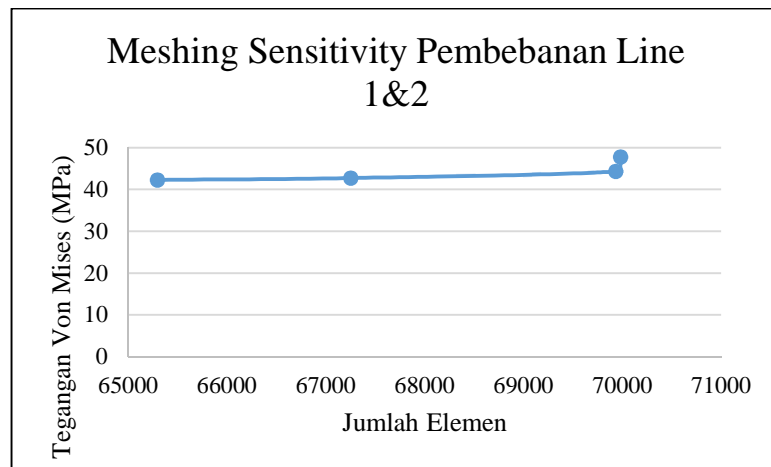
Gambar 4.36 Hasil *meshing* model 3D

Untuk menentukan ukuran *meshing* yang dirasa tepat harus dilakukan *meshing sensitivity*. *Meshing sensitivity* merupakan proses mencari hubungan antara perubahan ukuran *meshing* dengan perubahan nilai tegangan. Jika pada suatu titik tinjau ukuran *meshing* diganti tetapi nilai tegangan tidak mengalami perubahan yang begitu besar maka disitulah letak ukuran *meshing* yang dapat diterima dan menghasilkan nilai tegangan yang benar. Pada tabel 4.11 & 4.12 dan gambar 4.35

& 4.36. Disajikan hasil *meshing sensitivity* dengan perubahan ukuran elemen dari 0.3 m sampai 0.33.

Tabel 4.11 *meshing sensitivity* untuk pembebanan *line 1&2*

Ukuran elemen (m)	Jumlah Elemen	tegangan Von Mises (MPa)
0,3	69978	47,724
0,31	69931	44,312
0,32	67250	42,721
0,33	65294	42,281



Gambar 4.35 Grafik *meshing sensitivity* pembebanan *line streamer 1&2*

Dari grafik diatas didapatkan informasi bahwa tegangan mulai konstan pada elemen dengan ukuran 0.31, 0.32, dan 0.33 m. Hal ini dapat dibuktikan dari perbedaan tegangan von mises antara masing-masing ukuran elemen tidak lebih dari 5%.

Antara ukuran elemen 0.031 dan 0.32 :

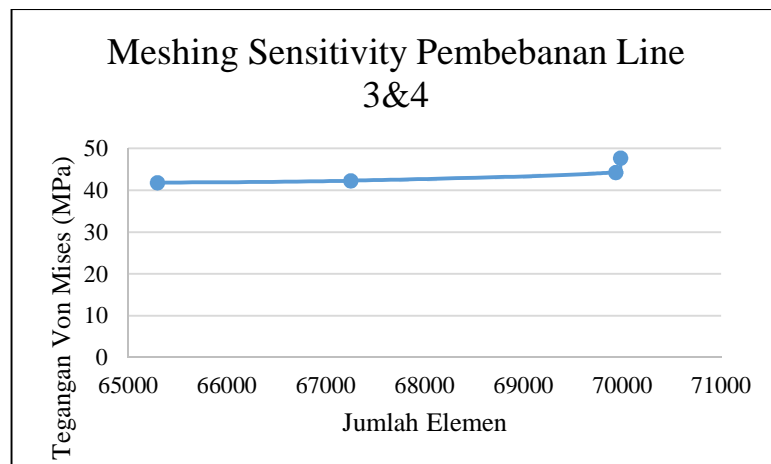
$$\frac{44.312 - 42.721}{44.312} \times 100\% = 3.6\% (\leq 5\%, \text{memenuhi})$$

Antara ukuran elemen 0.32 dan 0.33

$$\frac{42.721 - 42.281}{42.721} \times 100\% = 1.03\% (\leq 5\%, \text{memenuhi})$$

Tabel 4.12 *meshing* sensivity untuk pembebanan *line* 3&4

Ukuran elemen (m)	Jumlah Elemen	tegangan Von Mises (MPa)
0,3	69978	47,756
0,31	69931	44,31
0,32	67250	42,283
0,33	65294	41,803



Gambar 4.37 Grafik *meshing sensitivity* pembebanan *line streamer* 3&4

Dari grafik diatas didapatkan informasi bahwa tegangan mulai konstan pada elemen dengan ukuran 0.31, 0.32, dan 0.33 m. Hal ini dapat dibuktikan dari perbedaan tegangan von mises antara masing-masing ukuran elemen tidak lebih dari 5%.

Antara ukuran elemen 0.031 dan 0.32 :

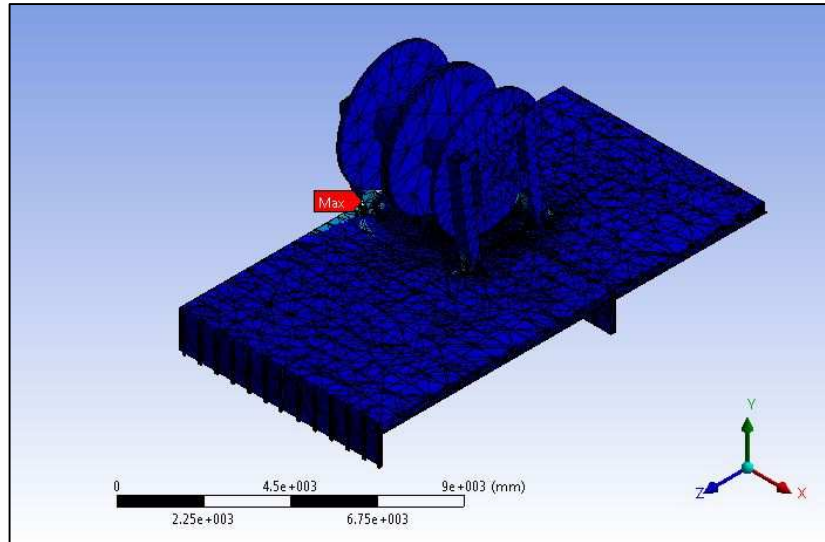
$$\frac{44.31 - 42.283}{44.31} \times 100\% = 4.57\% (\leq 5\%, \text{memenuhi})$$

Antara ukuran elemen 0.32 dan 0.33

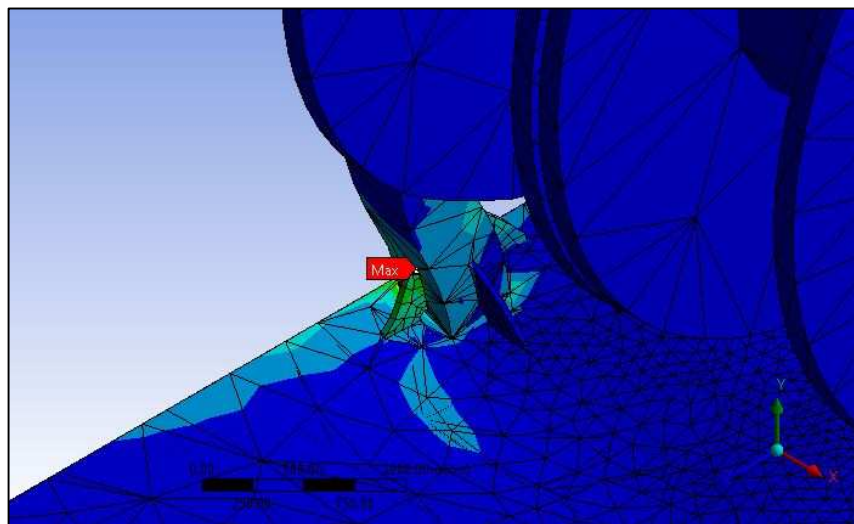
$$\frac{42.283 - 41.803}{42.283} \times 100\% = 1.16\% (\leq 5\%, \text{memenuhi})$$

#### 4.9.4 Tegangan dan Deformasi

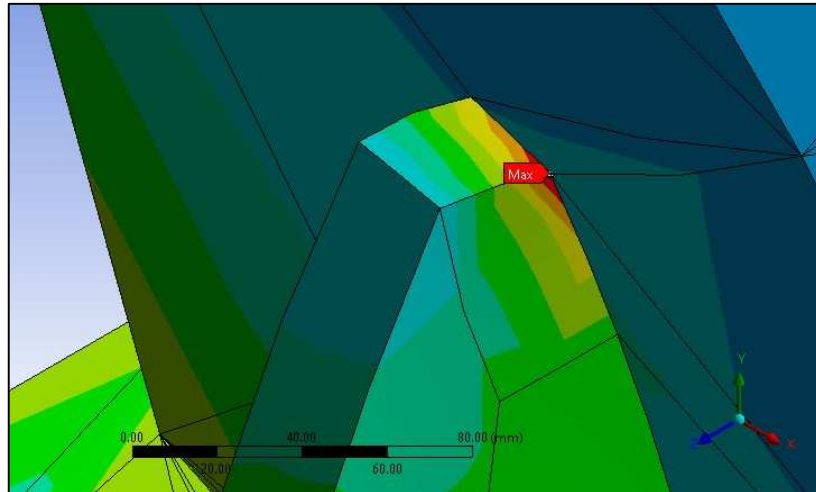
Setelah semua parameter telah dimasukan maka langkah terakhir yaitu proses perhitungan tegangan dan deformasi atau *running solving* pada ansys. Berikut ini pada gambar 4.37 sampai 4.40 merupakan hasil *solving* tegangan von mises dan deformasi untuk model konstruksi *winch roller streamer*.



Gambar 4.38 Tegangan von mises pada konstruksi *winch roller streamer*



Gambar 4.39 Detail Tegangan von mises maksimum pada pondasi *bracket*



Gambar 4.40 Lokasi tegangan pondasi *bracket* saat di perbesar

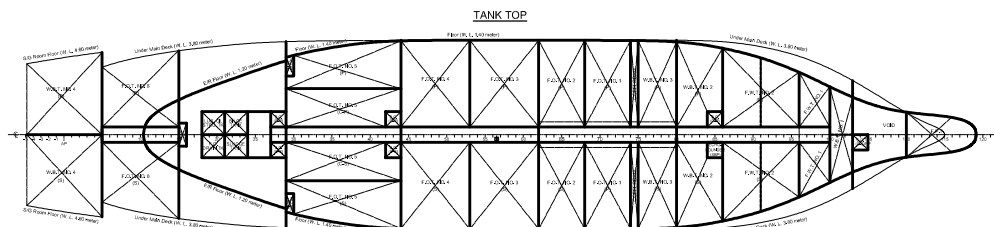
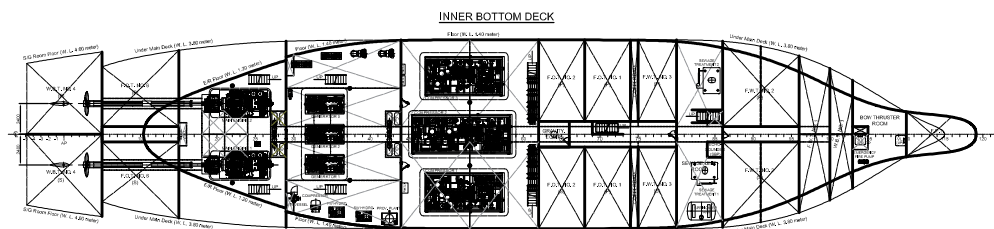
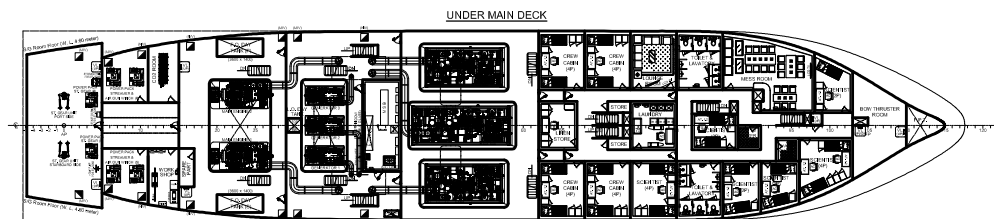
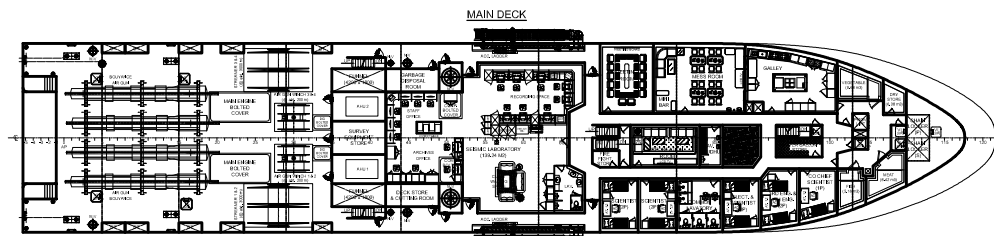
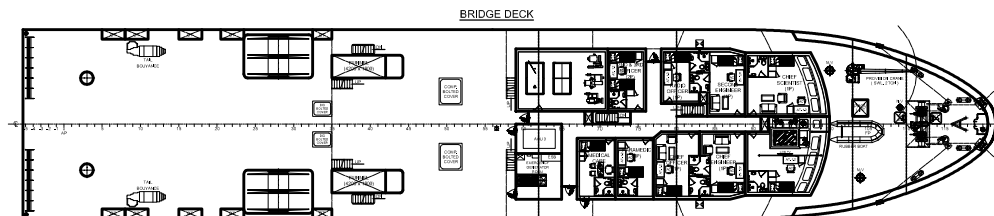
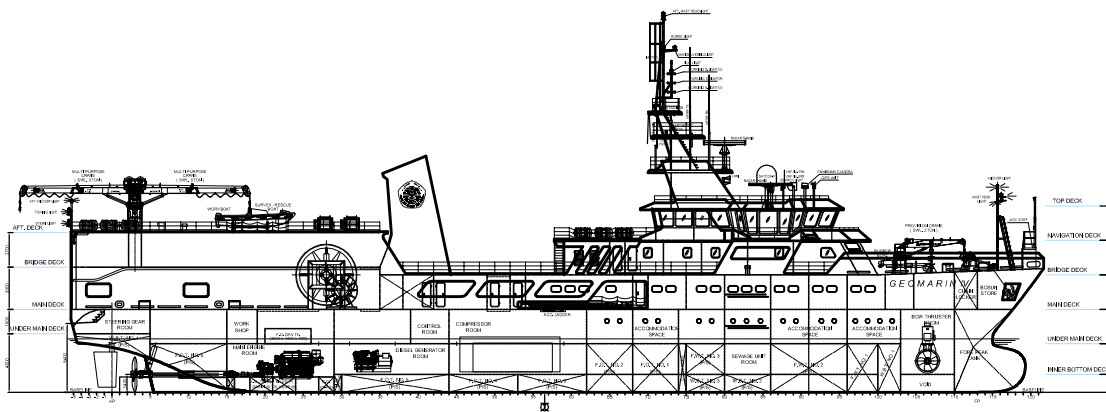
Proses *solving* memberikan hasil tegangan von mises maksimum yang terjadi pada pondasi *bracket* yaitu sebesar 44.312 MPa. Selain menghasilkan tegangan, beban yang bekerja pada *roller* juga menimbulkan deformasi pada struktur pondasi *bracket*. Deformasi merupakan perubahan bentuk atau pergeseran struktur akibat beban yang mengenainya. Besar deformasi yang terjadi pada pondasi *bracket* adalah sebesar 0.06 mm. Setelah didapatkan nilai tegangan von mises maksimum maka selanjutnya adalah melakukan kalkulasi kekuatan struktur. Menurut DNV *Rule Classification of Ships “Offshore Service Vessels, Tugs and Special Ships”* dan DNV *Rules for Classification of Ships “Hull Equipment and Safety”*, disebutkan bahwa untuk peralatan winches dengan gaya tarik digunakan faktor desain beban sebesar 1.1 kali tegangan maksimum yang terjadi. Material pondasi *bracket* menggunakan material baja A36 dengan nilai *yield strength* sebesar 250 MPa, maka

$$44.312 \text{ Mpa} \times 1.1 \leq 250 \text{ Mpa}$$

$$48.743 \text{ Mpa} \leq 250 \text{ Mpa} \text{ (memenuhi)}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa struktur pondasi *bracket* dari konstruksi *winch roller streamer* masuk dalam kriteria aman atau kuat menahan beban yang terjadi.

**LAMPIRAN**



MAIN PARTICULARS	
LENGTH OVER ALL	: 76,20 METER
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS	: 69,00 METER
BREADTH (MOULDED)	: 14,80 METER
DEPTH (MOULDED)	: 6,50 METER
DESIGN DRAFT	: 4,20 METER
SCANTLING DRAFT	: 4,40 METER
MAXIMUM SPEED AT FULL LOAD	: 12,5 KNOTS
SERVICE SPEED AT 85% MCR	: 11,5 KNOTS
SCIENTIST AND TECHNICIAN	: 24 PERSONS
CREW	: 26 PERSONS

Hasil RAO kecepatan 0 knot arah 0°

No	Enounter Freq	Surge RAO	Sway RAO	Heave RAO	Roll RAO	Pitch RAO	Yaw RAO
1	0,05	1,411	0	1	0	1,003	0
2	0,1	0,994	p	1	0	1,004	0
3	0,15	0,964	0	1	0	1,006	0
4	0,2	0,955	0	0,998	0	1,007	0
5	0,25	0,947	0	0,995	0	1,008	0
6	0,3	0,937	0	0,99	0	1,008	0
7	0,35	0,923	0	0,98	0	1,006	0
8	0,4	0,904	0	0,965	0	1,002	0
9	0,45	0,88	0	0,943	0	0,994	0
10	0,5	0,849	0	0,911	0	0,983	0
11	0,55	0,811	0	0,869	0	0,968	0
12	0,6	0,765	0	0,813	0	0,949	0
13	0,65	0,712	0	0,74	0	0,924	0
14	0,7	0,653	0	0,65	0	0,892	0
15	0,75	0,585	0	0,543	0	0,848	0
16	0,8	0,508	0	0,422	0	0,785	0
17	0,85	0,42	0	0,297	0	0,697	0
18	0,9	0,322	0	0,193	0	0,578	0
19	0,95	0,222	0	0,162	0	0,437	0
20	1	0,132	0	0,202	0	0,291	0
21	1,05	0,066	0	0,233	0	0,169	0
22	1,1	0,043	0	0,218	0	0,106	0
23	1,15	0,051	0	0,164	0	0,108	0
24	1,2	0,056	0	0,111	0	0,116	0
25	1,25	0,053	0	0,095	0	0,108	0
26	1,3	0,045	0	0,106	0	0,09	0
27	1,35	0,034	0	0,114	0	0,067	0
28	1,4	0,024	0	0,108	0	0,047	0
29	1,45	0,017	0	0,091	0	0,033	0
30	1,5	0,013	0	0,07	0	0,027	0
31	1,55	0,01	0	0,051	0	0,025	0
32	1,6	0,007	0	0,041	0	0,021	0
33	1,65	0,004	0	0,038	0	0,016	0
34	1,7	0,003	0	0,037	0	0,011	0
35	1,75	0,004	0	0,028	0	0,009	0
36	1,8	0,004	0	0,025	0	0,009	0
37	1,85	0,003	0	0,023	0	0,007	0
38	1,9	0,001	0	0,021	0	0,006	0
39	1,95	0,001	0	0,018	0	0,005	0
40	2	0,002	0	0,01	0	0,004	0
41	2,05	0,002	0	0,013	0,00000	0,004	0



Hasil RAO kecepatan 0 knot arah 90°

No	Enounter Freq	Surge RAO	Sway RAO	Heave RAO	Roll RAO	Pitch RAO	Yaw RAO
1	0,05	0,000	0,993	1	1,058	0,011	0,039
2	0,1	0,000	0,992	1	1,055	0,033	0,031
3	0,15	0,000	0,988	1	1,052	0,037	0,018
4	0,2	0,000	0,984	1,001	1,054	0,04	0,005
5	0,25	0,000	0,978	1,002	1,062	0,042	0,008
6	0,3	0,000	0,970	1,003	1,08	0,044	0,021
7	0,35	0,000	0,961	1,004	1,111	0,046	0,034
8	0,4	0,000	0,950	1,006	1,157	0,049	0,046
9	0,45	0,000	0,938	1,009	1,224	0,053	0,058
10	0,5	0,000	0,925	1,014	1,323	0,058	0,072
11	0,55	0,000	0,911	1,02	1,474	0,064	0,088
12	0,6	0,000	0,898	1,03	1,717	0,072	0,111
13	0,65	0,000	0,888	1,042	2,159	0,082	0,149
14	0,7	0,000	0,895	1,06	3,169	0,095	0,228
15	0,75	0,000	0,999	1,083	7,449	0,111	0,553
16	0,8	0,000	0,383	1,112	10,151	0,13	0,768
17	0,85	0,000	0,614	1,146	2,674	0,151	0,205
18	0,9	0,001	0,627	1,18	1,4	0,173	0,109
19	0,95	0,001	0,613	1,207	0,885	0,193	0,071
20	1	0,001	0,591	1,212	0,611	0,209	0,052
21	1,05	0,001	0,566	1,173	0,443	0,218	0,041
22	1,1	0,001	0,539	1,076	0,33	0,216	0,034
23	1,15	0,002	0,512	0,94	0,249	0,2	0,029
24	1,2	0,001	0,484	0,81	0,19	0,176	0,024
25	1,25	0,001	0,456	0,708	0,147	0,148	0,021
26	1,3	0,001	0,428	0,63	0,115	0,122	0,019
27	1,35	0,001	0,400	0,559	0,092	0,098	0,018
28	1,4	0,001	0,374	0,49	0,075	0,078	0,018
29	1,45	0,001	0,349	0,424	0,061	0,061	0,017
30	1,5	0,001	0,325	0,366	0,05	0,048	0,016
31	1,55	0,001	0,301	0,316	0,041	0,038	0,016
32	1,6	0,001	0,278	0,274	0,034	0,03	0,015
33	1,65	0,001	0,256	0,238	0,029	0,024	0,015
34	1,7	0,001	0,235	0,213	0,026	0,019	0,014
35	1,75	0,000	0,215	0,153	0,022	0,014	0,013
36	1,8	0,000	0,197	0,15	0,02	0,012	0,013
37	1,85	0,000	0,180	0,134	0,018	0,01	0,012
38	1,9	0,000	0,164	0,116	0,016	0,008	0,011
39	1,95	0,000	0,149	0,102	0,014	0,007	0,01
40	2	0,000	0,136	0,09	0,012	0,006	0,009
41	2,05	0,000	0,125	0,079	0,011	0,005	0,008

Hasil RAO kecepatan 0 knot arah 180°

No	Enounter Freq	Surge RAO	Sway RAO	Heave RAO	Roll RAO	Pitch RAO	Yaw RAO
1	0,05	1,411	0	1	0	1,003	0
2	0,1	0,994	0	1	0	1,004	0
3	0,15	0,964	0	1	0	1,005	0
4	0,2	0,955	0	0,998	0	1,005	0
5	0,25	0,946	0	0,995	0	1,005	0
6	0,3	0,936	0	0,99	0	1,004	0
7	0,35	0,922	0	0,98	0	1,002	0
8	0,4	0,903	0	0,965	0	0,997	0
9	0,45	0,878	0	0,944	0	0,988	0
10	0,5	0,846	0	0,915	0	0,976	0
11	0,55	0,805	0	0,877	0	0,958	0
12	0,6	0,755	0	0,83	0	0,934	0
13	0,65	0,695	0	0,776	0	0,903	0
14	0,7	0,622	0	0,718	0	0,863	0
15	0,75	0,537	0	0,66	0	0,811	0
16	0,8	0,439	0	0,608	0	0,744	0
17	0,85	0,332	0	0,559	0	0,658	0
18	0,9	0,224	0	0,506	0	0,554	0
19	0,95	0,126	0	0,441	0	0,439	0
20	1	0,048	0	0,369	0	0,326	0
21	1,05	0,008	0	0,309	0	0,228	0
22	1,1	0,042	0	0,279	0	0,15	0
23	1,15	0,062	0	0,271	0	0,092	0
24	1,2	0,068	0	0,259	0	0,055	0
25	1,25	0,064	0	0,228	0	0,04	0
26	1,3	0,054	0	0,179	0	0,041	0
27	1,35	0,044	0	0,123	0	0,04	0
28	1,4	0,038	0	0,074	0	0,035	0
29	1,45	0,034	0	0,045	0	0,026	0
30	1,5	0,031	0	0,043	0	0,017	0
31	1,55	0,027	0	0,047	0	0,011	0
32	1,6	0,023	0	0,045	0	0,008	0
33	1,65	0,019	0	0,038	0	0,008	0
34	1,7	0,017	0	0,029	0	0,008	0
35	1,75	0,015	0	0,019	0	0,007	0
36	1,8	0,013	0	0,015	0	0,005	0
37	1,85	0,011	0	0,019	0	0,004	0
38	1,9	0,009	0	0,014	0	0,003	0
39	1,95	0,008	0	0,011	0	0,003	0
40	2	0,007	0	0,011	0	0,003	0
41	2,05	0,006	0	0,009	0	0,002	0

Hasil RAO kecepatan 5 knot arah 0°

No	Enounter Freq	Surge RAO	Sway RAO	Heave RAO	Roll RAO	Pitch RAO	Yaw RAO
1	0,049	1,411	0	1	0	1,003	0
2	0,097	0,994	0	1	0	1,004	0
3	0,144	0,964	0	1	0	1,006	0
4	0,190	0,955	0	0,998	0	1,007	0
5	0,234	0,947	0	0,995	0	1,008	0
6	0,276	0,937	0	0,99	0	1,008	0
7	0,318	0,923	0	0,98	0	1,006	0
8	0,358	0,904	0	0,965	0	1,002	0
9	0,397	0,88	0	0,943	0	0,994	0
10	0,434	0,849	0	0,911	0	0,983	0
11	0,471	0,811	0	0,869	0	0,968	0
12	0,506	0,765	0	0,813	0	0,949	0
13	0,539	0,712	0	0,74	0	0,924	0
14	0,571	0,653	0	0,65	0	0,892	0
15	0,602	0,585	0	0,543	0	0,848	0
16	0,632	0,508	0	0,422	0	0,785	0
17	0,660	0,42	0	0,297	0	0,697	0
18	0,688	0,322	0	0,193	0	0,578	0
19	0,713	0,222	0	0,162	0	0,437	0
20	0,738	0,132	0	0,202	0	0,291	0
21	0,761	0,066	0	0,233	0	0,169	0
22	0,783	0,043	0	0,218	0	0,106	0
23	0,803	0,051	0	0,164	0	0,108	0
24	0,822	0,056	0	0,111	0	0,116	0
25	0,840	0,053	0	0,095	0	0,108	0
26	0,857	0,045	0	0,106	0	0,09	0
27	0,872	0,034	0	0,114	0	0,067	0
28	0,886	0,024	0	0,108	0	0,047	0
29	0,899	0,017	0	0,091	0	0,033	0
30	0,910	0,013	0	0,07	0	0,027	0
31	0,920	0,01	0	0,051	0	0,025	0
32	0,929	0,007	0	0,041	0	0,021	0
33	0,936	0,004	0	0,038	0	0,016	0
34	0,942	0,003	0	0,037	0	0,011	0
35	0,947	0,004	0	0,028	0	0,009	0
36	0,950	0,004	0	0,025	0	0,009	0
37	0,952	0,003	0	0,023	0	0,007	0
38	0,953	0,001	0	0,021	0	0,006	0
39	0,953	0,001	0	0,018	0	0,005	0
40	0,951	0,002	0	0,01	0	0,004	0
41	0,948	0,002	0	0,013	0,00000	0,004	0

Hasil RAO kecepatan 5 knot arah 90°

No	Enounter Freq	Surge RAO	Sway RAO	Heave RAO	Roll RAO	Pitch RAO	Yaw RAO
1	0,05	0,000	0,993	1	1,058	0,011	0,039
2	0,1	0,000	0,992	1	1,055	0,033	0,031
3	0,15	0,000	0,988	1	1,052	0,037	0,018
4	0,2	0,000	0,984	1,001	1,054	0,04	0,005
5	0,25	0,000	0,978	1,002	1,062	0,042	0,008
6	0,3	0,000	0,970	1,003	1,08	0,044	0,021
7	0,35	0,000	0,961	1,004	1,111	0,046	0,034
8	0,4	0,000	0,950	1,006	1,157	0,049	0,046
9	0,45	0,000	0,938	1,009	1,224	0,053	0,058
10	0,5	0,000	0,925	1,014	1,323	0,058	0,072
11	0,55	0,000	0,911	1,02	1,474	0,064	0,088
12	0,6	0,000	0,898	1,03	1,717	0,072	0,111
13	0,65	0,000	0,888	1,042	2,159	0,082	0,149
14	0,7	0,000	0,895	1,06	3,169	0,095	0,228
15	0,75	0,000	0,999	1,083	7,449	0,111	0,553
16	0,8	0,000	0,383	1,112	10,151	0,13	0,768
17	0,85	0,000	0,614	1,146	2,674	0,151	0,205
18	0,9	0,001	0,627	1,18	1,4	0,173	0,109
19	0,95	0,001	0,613	1,207	0,885	0,193	0,071
20	1	0,001	0,591	1,212	0,611	0,209	0,052
21	1,05	0,001	0,566	1,173	0,443	0,218	0,041
22	1,1	0,001	0,539	1,076	0,33	0,216	0,034
23	1,15	0,002	0,512	0,94	0,249	0,2	0,029
24	1,2	0,001	0,484	0,81	0,19	0,176	0,024
25	1,25	0,001	0,456	0,708	0,147	0,148	0,021
26	1,3	0,001	0,428	0,63	0,115	0,122	0,019
27	1,35	0,001	0,400	0,559	0,092	0,098	0,018
28	1,4	0,001	0,374	0,49	0,075	0,078	0,018
29	1,45	0,001	0,349	0,424	0,061	0,061	0,017
30	1,5	0,001	0,325	0,366	0,05	0,048	0,016
31	1,55	0,001	0,301	0,316	0,041	0,038	0,016
32	1,6	0,001	0,278	0,274	0,034	0,03	0,015
33	1,65	0,001	0,256	0,238	0,029	0,024	0,015
34	1,7	0,001	0,235	0,213	0,026	0,019	0,014
35	1,75	0,000	0,215	0,153	0,022	0,014	0,013
36	1,8	0,000	0,197	0,15	0,02	0,012	0,013
37	1,85	0,000	0,180	0,134	0,018	0,01	0,012
38	1,9	0,000	0,164	0,116	0,016	0,008	0,011
39	1,95	0,000	0,149	0,102	0,014	0,007	0,01
40	2	0,000	0,136	0,09	0,012	0,006	0,009
41	2,05	0,000	0,125	0,079	0,011	0,005	0,008

Hasil RAO kecepatan 5 knot arah 180°

No	Enounter Freq	Surge RAO	Sway RAO	Heave RAO	Roll RAO	Pitch RAO	Yaw RAO
1	0,051	1,411	0	1	0	1,003	0
2	0,103	0,994	0	1	0	1,004	0
3	0,156	0,964	0	1	0	1,005	0
4	0,210	0,955	0	0,998	0	1,005	0
5	0,266	0,946	0	0,995	0	1,005	0
6	0,324	0,936	0	0,99	0	1,004	0
7	0,382	0,922	0	0,98	0	1,002	0
8	0,442	0,903	0	0,965	0	0,997	0
9	0,503	0,878	0	0,944	0	0,988	0
10	0,566	0,846	0	0,915	0	0,976	0
11	0,629	0,805	0	0,877	0	0,958	0
12	0,694	0,755	0	0,83	0	0,934	0
13	0,761	0,695	0	0,776	0	0,903	0
14	0,829	0,622	0	0,718	0	0,863	0
15	0,898	0,537	0	0,66	0	0,811	0
16	0,968	0,439	0	0,608	0	0,744	0
17	1,040	0,332	0	0,559	0	0,658	0
18	1,112	0,224	0	0,506	0	0,554	0
19	1,187	0,126	0	0,441	0	0,439	0
20	1,262	0,048	0	0,369	0	0,326	0
21	1,339	0,008	0	0,309	0	0,228	0
22	1,417	0,042	0	0,279	0	0,15	0
23	1,497	0,062	0	0,271	0	0,092	0
24	1,578	0,068	0	0,259	0	0,055	0
25	1,660	0,064	0	0,228	0	0,04	0
26	1,743	0,054	0	0,179	0	0,041	0
27	1,828	0,044	0	0,123	0	0,04	0
28	1,914	0,038	0	0,074	0	0,035	0
29	2,001	0,034	0	0,045	0	0,026	0
30	2,090	0,031	0	0,043	0	0,017	0
31	2,180	0,027	0	0,047	0	0,011	0
32	2,271	0,023	0	0,045	0	0,008	0
33	2,364	0,019	0	0,038	0	0,008	0
34	2,458	0,017	0	0,029	0	0,008	0
35	2,553	0,015	0	0,019	0	0,007	0
36	2,650	0,013	0	0,015	0	0,005	0
37	2,748	0,011	0	0,019	0	0,004	0
38	2,847	0,009	0	0,014	0	0,003	0
39	2,947	0,008	0	0,011	0	0,003	0
40	3,049	0,007	0	0,011	0	0,003	0
41	3,152	0,006	0	0,009	0	0,002	0

Hasil RAO kondisi operasi survei arah 0°

No	Enounter Freq	Surge RAO	Sway RAO	Heave RAO	Roll RAO	Pitch RAO	Yaw RAO
1	0,05	0,971	0,000	1,000	0,001	0,015	0,000
2	0,1	0,969	0,000	1,000	0,001	0,058	0,000
3	0,15	0,966	0,000	1,001	0,001	0,132	0,000
4	0,2	0,960	0,000	1,006	0,001	0,235	0,000
5	0,25	0,952	0,000	1,008	0,001	0,369	0,000
6	0,3	0,939	0,000	1,025	0,001	0,532	0,000
7	0,35	0,922	0,000	1,046	0,001	0,726	0,000
8	0,4	0,901	0,000	1,080	0,002	0,947	0,000
9	0,45	0,835	0,000	1,179	0,002	1,460	0,000
10	0,5	0,790	0,000	1,268	0,002	1,736	0,000
11	0,55	0,736	0,000	1,331	0,003	2,013	0,000
12	0,6	0,672	0,000	1,435	0,003	2,272	0,000
13	0,65	0,600	0,000	1,486	0,004	2,494	0,000
14	0,7	0,521	0,000	1,525	0,006	2,653	0,000
15	0,75	0,435	0,000	1,515	0,025	2,719	0,000
16	0,8	0,347	0,000	1,448	0,003	2,659	0,000
17	0,85	0,258	0,000	1,304	0,003	2,442	0,000
18	0,9	0,174	0,000	1,082	0,003	2,046	0,000
19	0,95	0,098	0,000	0,791	0,003	1,469	0,000
20	1	0,033	0,000	0,511	0,003	0,770	0,000
21	1,05	0,018	0,000	0,392	0,003	0,160	0,000
22	1,1	0,055	0,000	0,466	0,002	0,550	0,000
23	1,15	0,075	0,000	0,533	0,001	0,848	0,000
24	1,2	0,081	0,000	0,523	0,001	0,891	0,000
25	1,25	0,073	0,000	0,445	0,000	0,748	0,000
26	1,3	0,058	0,000	0,333	0,000	0,509	0,000
27	1,35	0,037	0,000	0,220	0,000	0,257	0,000
28	1,4	0,017	0,000	0,146	0,000	0,119	0,000
29	1,45	0,003	0,000	0,142	0,000	0,204	0,000
30	1,5	0,011	0,000	0,158	0,000	0,263	0,000
31	1,55	0,015	0,000	0,154	0,000	0,258	0,000
32	1,6	0,016	0,000	0,149	0,000	0,245	0,000
33	1,65	0,015	0,000	0,116	0,001	0,168	0,000
34	1,7	0,011	0,000	0,085	0,001	0,082	0,000
35	1,75	0,005	0,000	0,151	0,001	0,162	0,000
36	1,8	0,002	0,000	0,167	0,001	0,219	0,000
37	1,85	0,002	0,000	0,142	0,001	0,190	0,000
38	1,9	0,004	0,000	0,098	0,001	0,117	0,000
39	1,95	0,005	0,000	0,059	0,000	0,067	0,000
40	2	0,005	0,000	0,062	0,000	0,086	0,000
41	2,05	0,004	0,000	0,054	0,000	0,081	0,000

Hasil RAO kondisi operasi survei arah 90°

No	Enounter Freq	Surge RAO	Sway RAO	Heave RAO	Roll RAO	Pitch RAO	Yaw RAO
1	0,05	0,00	0,99	1,00	0,02	0,00	0,00
2	0,1	0,00	0,99	1,00	0,06	0,00	0,00
3	0,15	0,00	0,99	1,00	0,13	0,00	0,00
4	0,2	0,00	0,98	1,00	0,24	0,00	0,00
5	0,25	0,00	0,97	1,00	0,38	0,00	0,00
6	0,3	0,00	0,97	1,00	0,57	0,00	0,00
7	0,35	0,00	0,95	1,00	0,80	0,00	0,01
8	0,4	0,00	0,94	1,00	1,10	0,00	0,01
9	0,45	0,00	0,91	1,00	1,98	0,01	0,02
10	0,5	0,00	0,89	1,00	2,66	0,02	0,03
11	0,55	0,00	0,86	1,00	3,65	0,02	0,05
12	0,6	0,00	0,83	1,01	5,23	0,04	0,08
13	0,65	0,00	0,80	1,01	7,51	0,05	0,13
14	0,7	0,00	0,76	1,01	10,44	0,08	0,20
15	0,75	0,00	0,76	1,01	11,79	0,11	0,26
16	0,8	0,00	0,76	1,02	10,51	0,16	0,27
17	0,85	0,00	0,75	1,03	8,00	0,22	0,24
18	0,9	0,00	0,72	1,04	5,92	0,30	0,20
19	0,95	0,00	0,69	1,06	4,54	0,41	0,18
20	1	0,00	0,65	1,09	3,61	0,52	0,17
21	1,05	0,00	0,62	1,13	2,96	0,63	0,16
22	1,1	0,00	0,58	1,14	2,48	0,70	0,16
23	1,15	0,00	0,54	1,12	2,11	0,73	0,15
24	1,2	0,00	0,51	1,05	1,82	0,70	0,15
25	1,25	0,00	0,47	0,96	1,58	0,64	0,15
26	1,3	0,00	0,43	0,85	1,38	0,57	0,14
27	1,35	0,00	0,40	0,75	1,21	0,51	0,14
28	1,4	0,00	0,37	0,65	1,06	0,44	0,14
29	1,45	0,00	0,34	0,56	0,94	0,39	0,13
30	1,5	0,00	0,31	0,48	0,83	0,34	0,13
31	1,55	0,00	0,29	0,44	0,76	0,31	0,13
32	1,6	0,00	0,28	0,42	0,73	0,30	0,13
33	1,65	0,00	0,25	0,36	0,65	0,26	0,12
34	1,7	0,00	0,23	0,31	0,57	0,24	0,12
35	1,75	0,00	0,21	0,28	0,52	0,21	0,11
36	1,8	0,00	0,19	0,25	0,46	0,19	0,11
37	1,85	0,00	0,17	0,22	0,41	0,17	0,11
38	1,9	0,00	0,15	0,19	0,36	0,14	0,10
39	1,95	0,00052	0,12945	0,18057	0,32	0,149	0,097
40	2	0,00042	0,11362	0,15458	0	0,12	0,093
41	2,05	0,00038	0,09736	0,13829	0,226	0,11	0,089

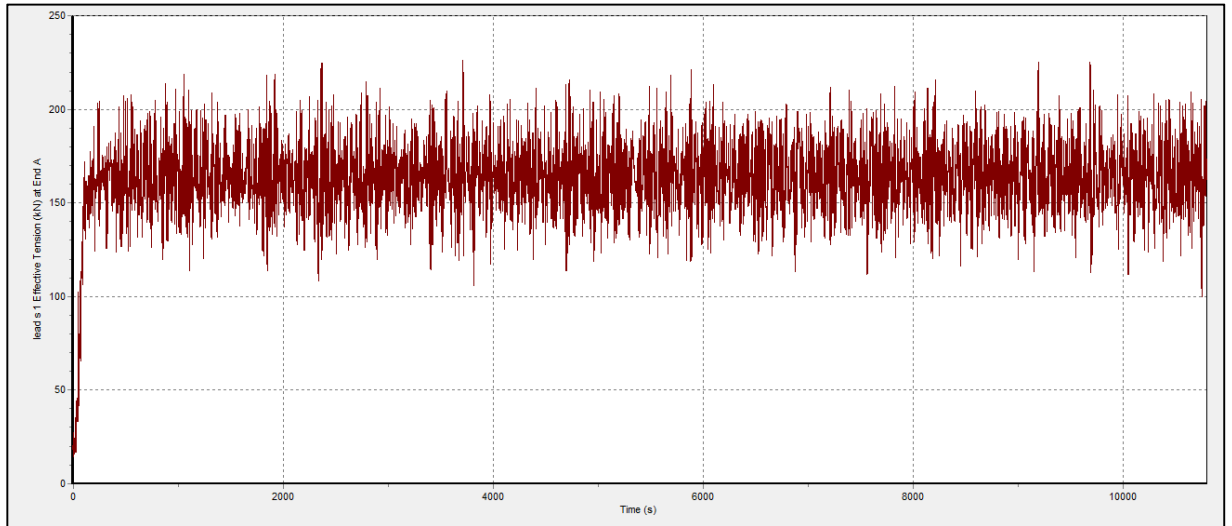
Hasil RAO kondisi operasi survei arah 180°

No	Enounter Freq	Surge RAO	Sway RAO	Heave RAO	Roll RAO	Pitch RAO	Yaw RAO
1	0,05	0,971	0,000	1,000	0,001	0,015	0,000
2	0,1	0,969	0,000	1,000	0,001	0,058	0,000
3	0,15	0,966	0,000	1,001	0,001	0,132	0,000
4	0,2	0,960	0,000	1,003	0,001	0,235	0,000
5	0,25	0,952	0,000	1,008	0,001	0,367	0,000
6	0,3	0,939	0,000	1,019	0,001	0,529	0,000
7	0,35	0,922	0,000	1,039	0,001	0,721	0,000
8	0,4	0,901	0,000	1,078	0,002	0,939	0,000
9	0,45	0,835	0,000	1,176	0,002	1,445	0,000
10	0,5	0,790	0,000	1,240	0,002	1,719	0,000
11	0,55	0,736	0,000	1,303	0,003	1,995	0,000
12	0,6	0,672	0,000	1,398	0,004	2,259	0,000
13	0,65	0,601	0,000	1,456	0,005	2,492	0,000
14	0,7	0,521	0,000	1,486	0,010	2,672	0,000
15	0,75	0,436	0,000	1,501	0,059	2,773	0,001
16	0,8	0,348	0,000	1,468	0,010	2,766	0,000
17	0,85	0,260	0,000	1,374	0,005	2,622	0,000
18	0,9	0,177	0,000	1,226	0,004	2,324	0,000
19	0,95	0,101	0,000	1,021	0,003	1,869	0,000
20	1	0,036	0,000	0,786	0,003	1,297	0,000
21	1,05	0,020	0,000	0,560	0,002	0,687	0,000
22	1,1	0,056	0,000	0,417	0,002	0,149	0,000
23	1,15	0,078	0,000	0,414	0,001	0,323	0,000
24	1,2	0,084	0,000	0,469	0,001	0,610	0,000
25	1,25	0,077	0,000	0,491	0,000	0,744	0,000
26	1,3	0,061	0,000	0,455	0,000	0,729	0,000
27	1,35	0,040	0,000	0,371	0,000	0,598	0,000
28	1,4	0,019	0,000	0,266	0,000	0,399	0,000
29	1,45	0,002	0,000	0,176	0,000	0,193	0,000
30	1,5	0,011	0,000	0,145	0,000	0,103	0,000
31	1,55	0,015	0,000	0,152	0,000	0,164	0,000
32	1,6	0,016	0,000	0,156	0,000	0,189	0,000
33	1,65	0,015	0,000	0,160	0,001	0,240	0,000
34	1,7	0,011	0,000	0,142	0,003	0,227	0,000
35	1,75	0,007	0,000	0,110	0,006	0,183	0,000
36	1,8	0,004	0,000	0,071	0,002	0,119	0,000
37	1,85	0,003	0,000	0,041	0,001	0,022	0,000
38	1,9	0,004	0,000	0,066	0,001	0,093	0,000
39	1,95	0,005	0,000	0,074	0,000	0,123	0,000
40	2	0,005	0,000	0,061	0,000	0,097	0,000
41	2,05	0,004	0,000	0,032	0,000	0,031	0,000

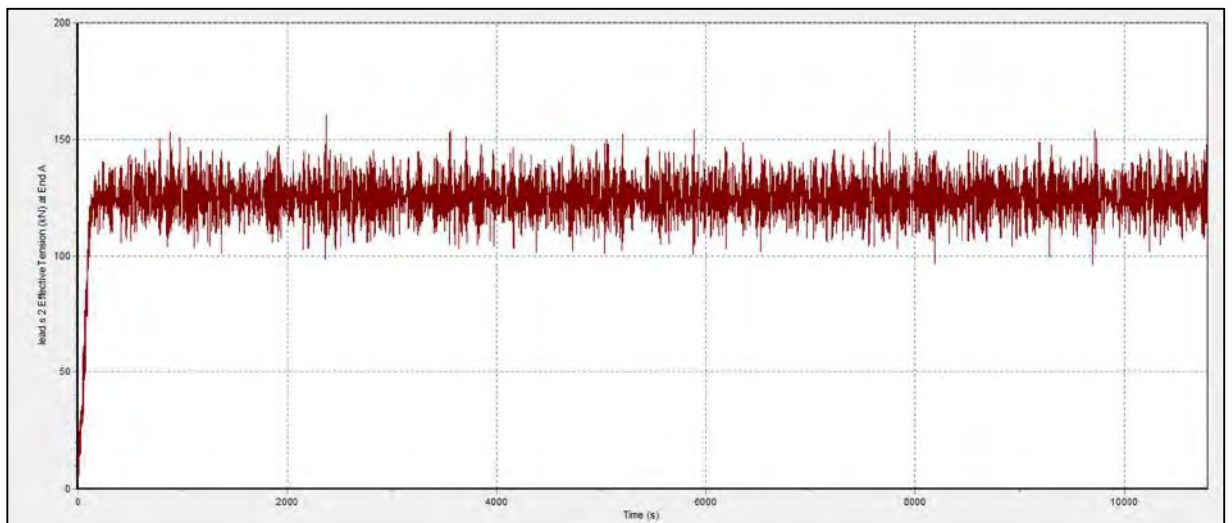


## Grafik tension arah pembebanan 0°

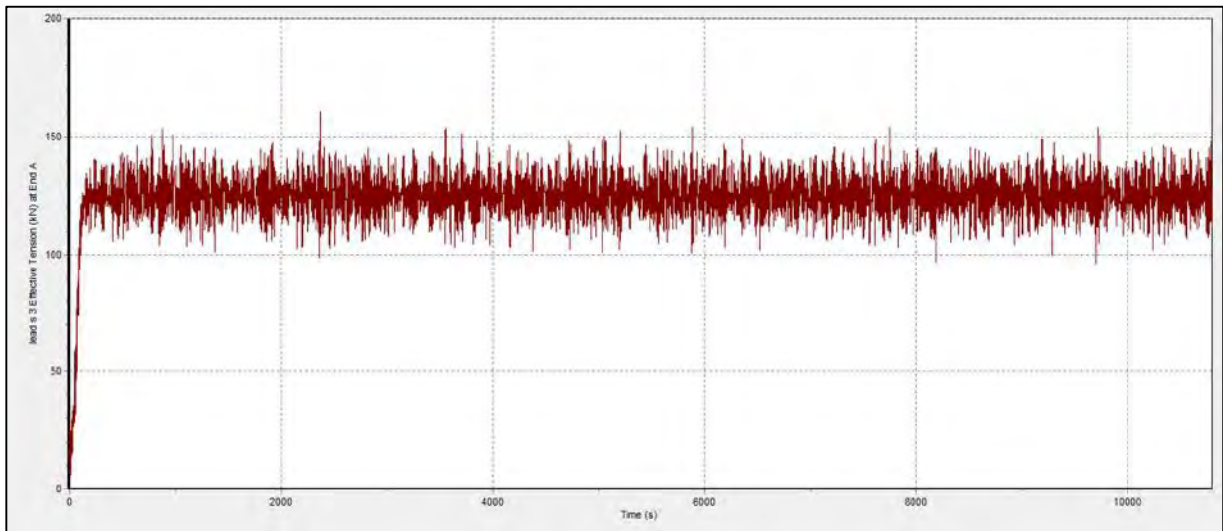
Line streamer 1



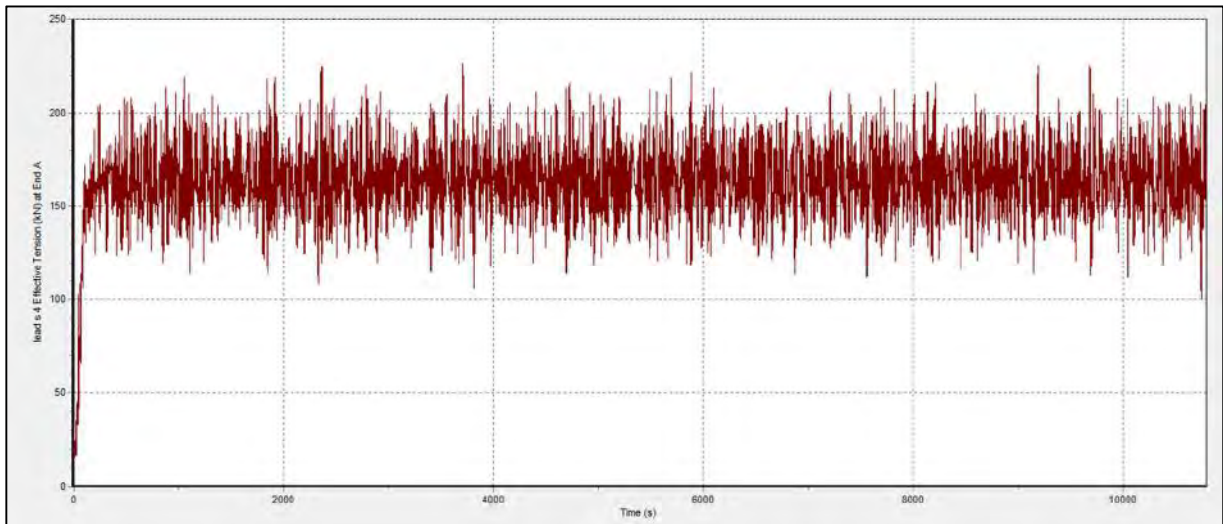
Line streamer 2



Line streamer 3

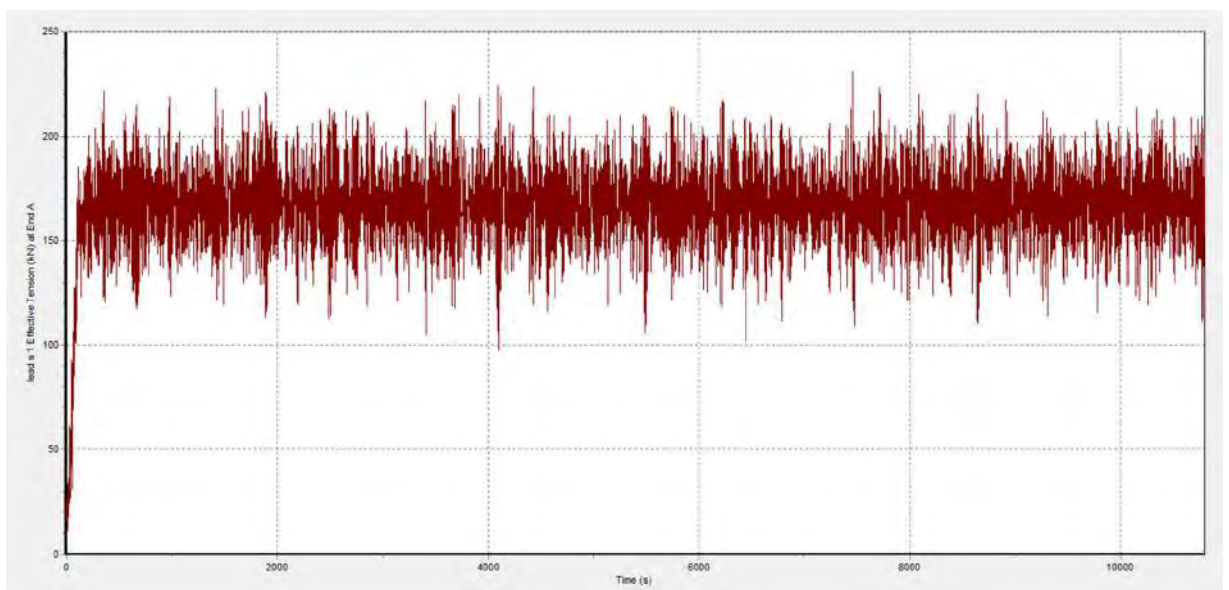


line streamer 4

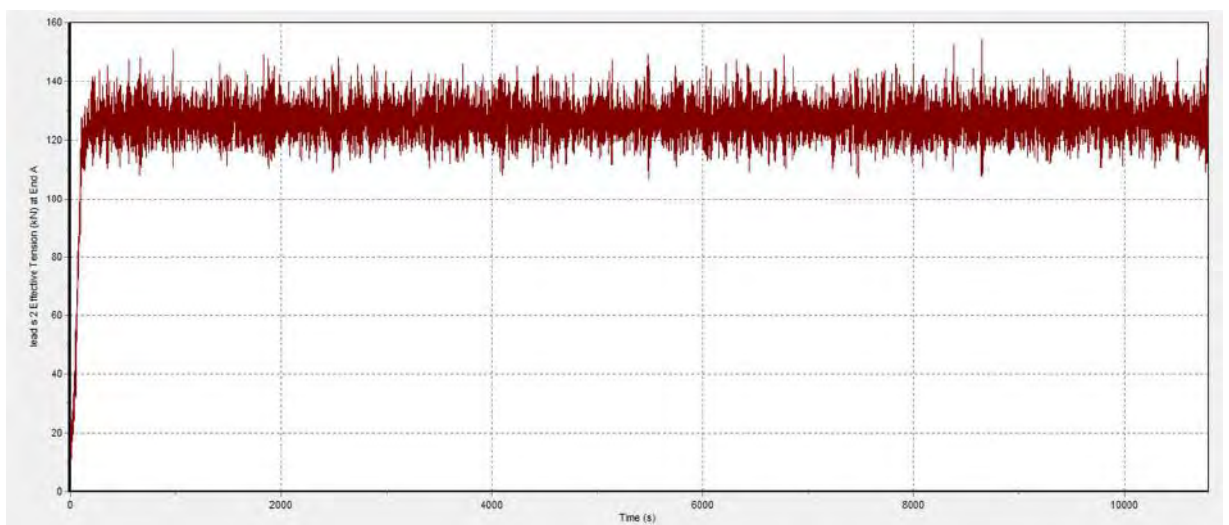


## Grafik tension arah pembebanan 90°

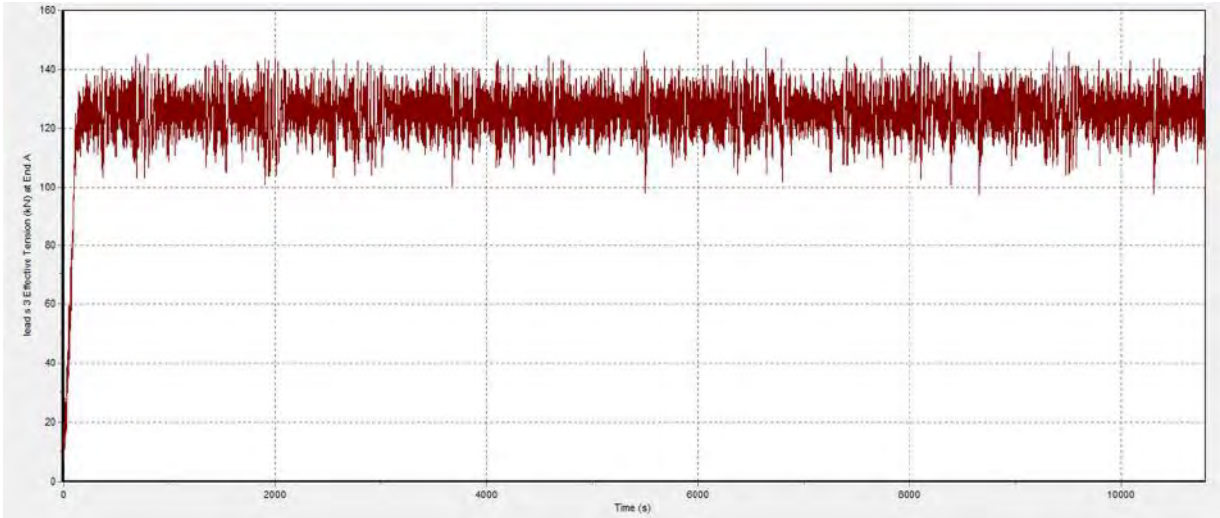
Line streamer 1



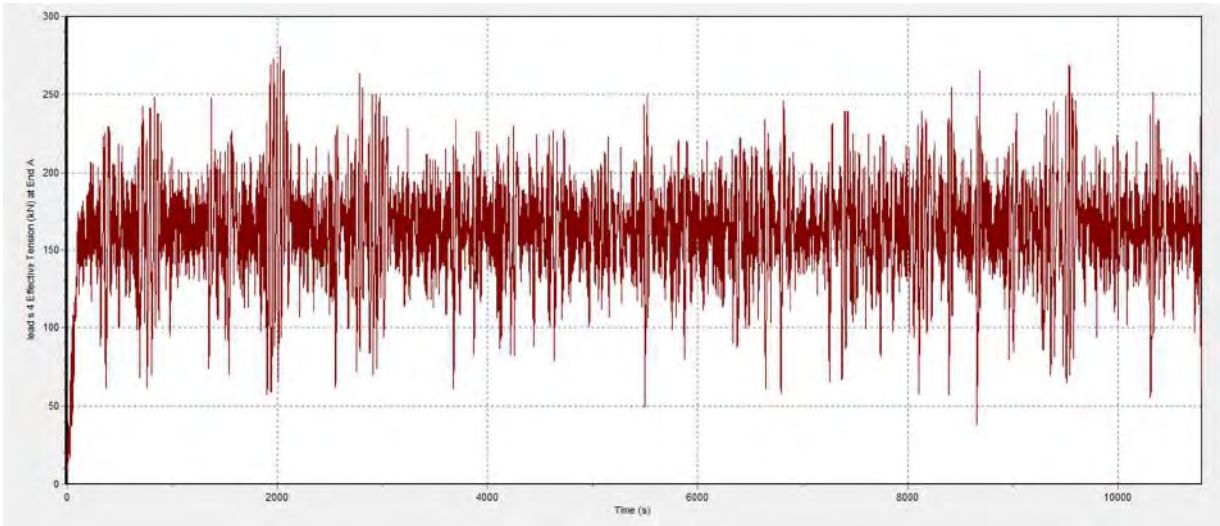
Line streamer 2



Line streamer 3



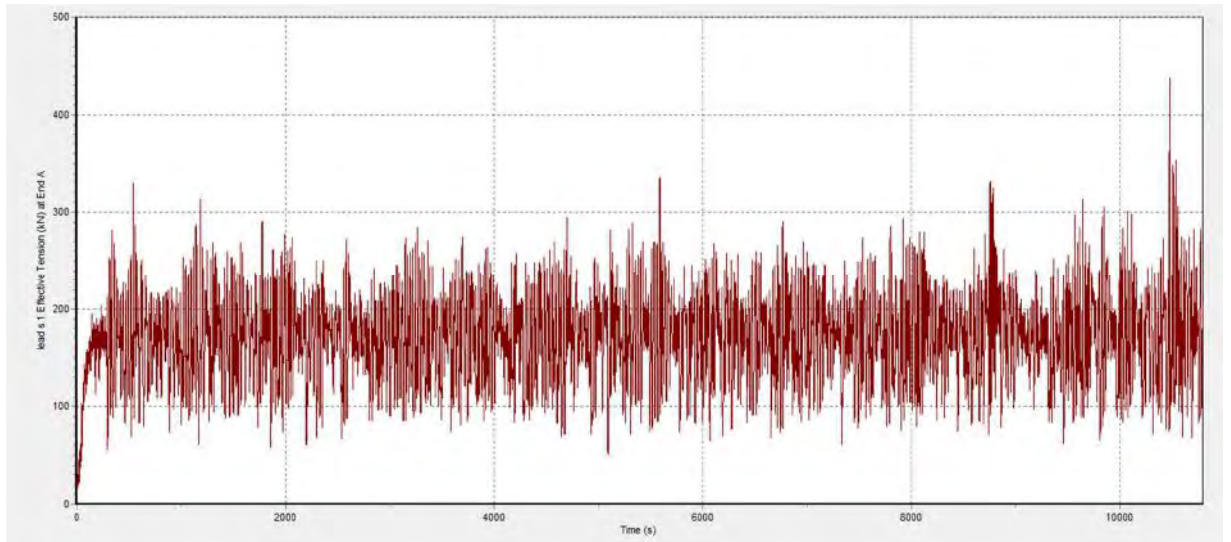
Line streamer 4



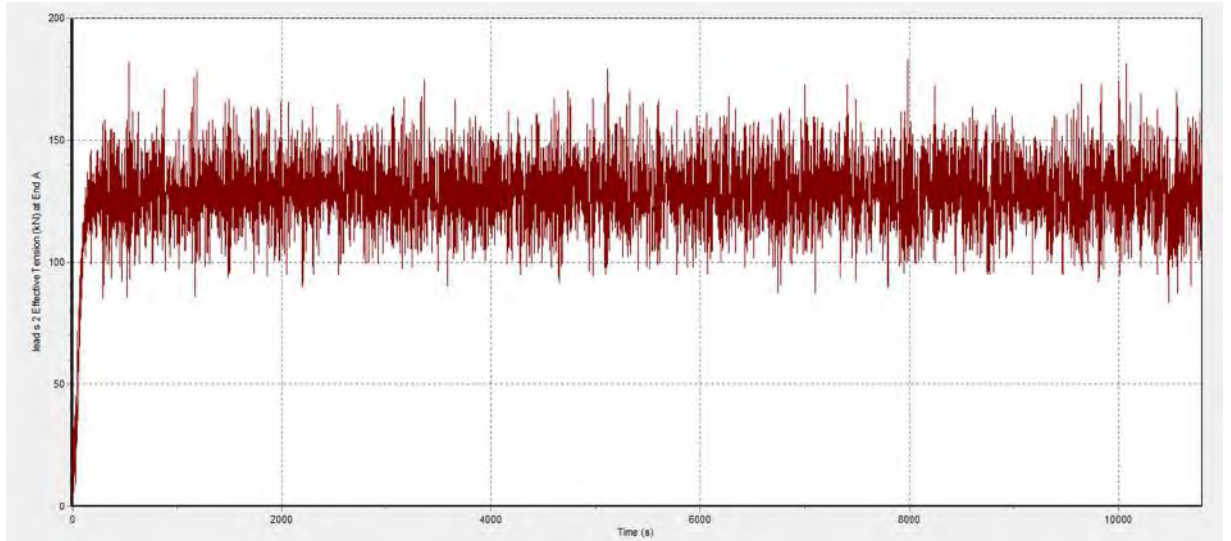


## Grafik tension arah pembebanan 180°

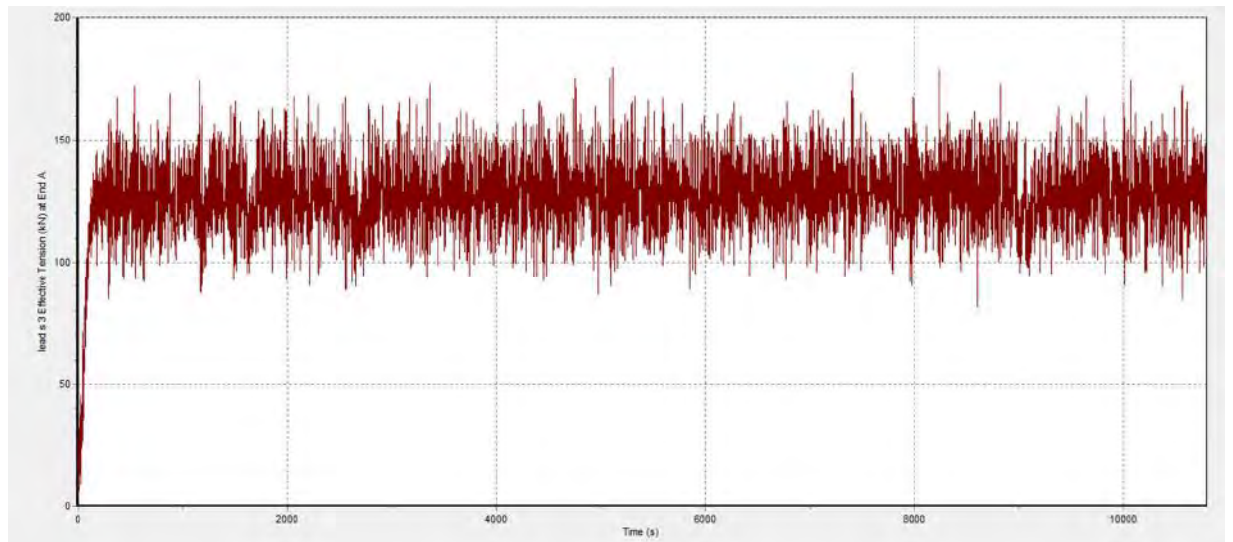
Line streamer 1



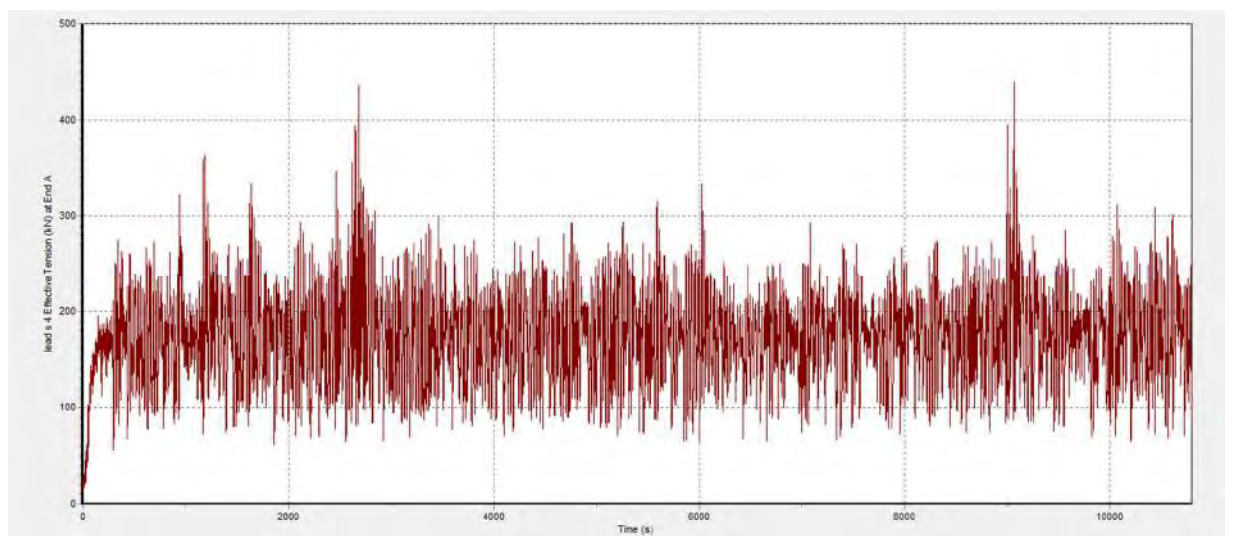
Line streamer 2



Line streamer 3



Line streamer 4



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari berbagai analisis yang telah dilakukan baik untuk kapal Geomarin IV maupun struktur pondasi *bracket* di bab 4 dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Amplitudu tertinggi kapal survei Geomarin IV pada kondisi kecepatan 5 knot dan *streamer* terbentang seluruhnya di atas permukaan laut yaitu:
  - Untuk gerak *surge*, amplitudu tertinggi ada pada arah datang gelombang  $0^\circ$  yaitu 0,971m/m
  - Untuk gerak *sway*, amplitudu tertinggi ada pada arah datang gelombang  $90^\circ$  yaitu 0,995m/m
  - Untuk gerak *heave*, amplitudu tertinggi ada pada arah datang gelombang  $0^\circ$  yaitu 1,525m/m
  - Untuk gerak *roll*, amplitudu tertinggi ada pada arah datang gelombang  $90^\circ$  yaitu 11,792deg/m
  - Untuk gerak *pitch*, amplitudu tertinggi ada pada arah datang gelombang  $180^\circ$  yaitu 2,77deg/m
  - Untuk gerak *yaw*, amplitudu tertinggi ada pada arah datang gelombang  $90^\circ$  yaitu 0,226m/m
2. Dari analisis gaya tarik pada saat *streamer* terbentang seluruhnya diatas permukaan laut didapatkan gaya tarik terbesar pada arah datang gelombang  $180^\circ$  dengan gaya tarik *line* 1= 437.71 KN, *line* 2= 182.89 KN, *line* 3= 179.39 KN, *line* 4= 439.7 KN. Secara keseluruhan gaya tarik dari *line streamer* no 1 dan 4 lebih besar nilainya dari *line streamer* 2 dan 3, hal ini dikarenakan pada *line streamer* 1 dan 4 terhubung dengan *barovane* dan *line* tersebut juga terhubung dengan *line streamer* 2 dan 3 menggunakan *spreader* untuk menjaga posisi *streamer*. Oleh karena itu *line streamer* 1 dan 4 menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan *line* 2 dan 3 sehingga dapat dikatakan logis bahwa nilai gaya tarik *line streamer* 1 dan 4 bisa lebih besar dari *line streamer* 2 dan 3.

3. Tegangan maksimum yang terjadi pada struktur pondasi *bracket* sebesar 44.312 Mpa. Struktur pondasi *bracket* ini masuk dalam kriteria aman dan kuat karena *design load* masih dibawah *yield strength* material baja yaitu 48.743 Mpa dengan deformasi sebesar 0.06 mm.

## 5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut sehingga dapat melengkapi penelitian ini penulis memberikan saran untuk melakukan analisis berikut:

1. Analisis kekuatan untuk pondasi untuk konstruksi *winch roller* dari *line airgun*.
2. Analisis operabilitas kapal survei seismik dengan memodelkan *bow truster*.
3. Analisis operabilitas dari peralatan survei seismik seperti *streamer* dan *airgun*.
4. Analisis kekuatan pondasi pada konstruksi *winch roller streamer* dengan menambahkan konstruksi pilar penahan menerus hingga *deck* pada bagian atas *roller*.



## **Daftar Pustaka**

- Bhattacharyya, R. 1978. "Dynamics of Marine Vehicles", A wiley interscience publication, USA
- Chakrabarti, S.K. 1987. "Hydrodynamics of Offshore Structures", Elsavier, Southampton UK
- Djatkiko, E.B. 2003. "Perilaku Bangunan Apung di atas Gelombang Acak". ITS Press. Surabaya
- Dowling, A.P. 1987. "The dynamics of towed flexible cylinders Part 1. Neutrally buoyant elements". J.Fluid mech.187:507-532.
- DNV Rules for Classification of Ships. 2013. "Offshore Service Vessels, Tugs and Special Ships". Det Norske Veritas. Norway
- DNV Rules for Classification of Ships. 2013. "Hull Equipment and Safety". Det Norske Veritas. Norway
- Faltinsen, O.M. 1990. "Sea Loads On Ships and Offshore Structures", Cambridge University press. UK
- IACS Requirements Concerning. 2016. "Strength Of Ships". IACS. USA
- Lighthill, M.J. 1960. "Note on the swimming of slender fish". J.Fluid mech.9 :305-317.
- Pratiwi, Hanna Indah. 2013. "Analisis Kekuatan Struktur Sistem Tambat FSO Arco Ardjuna Pada Saat Offloading Dengan Shuttle Tanker 85000 DWT". Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya.
- Solovyov, Vladimir. 2012. "Computational and experimental analysis of trawl winches". Engineering Failure Analysis 28:160-165.
- Taylor, G.I. 1952. "Analysis of swimming of long and narrow animals". Proc. R. Soc. Land.214 : 158-183.
- UNOLS. 2003. "Global Class Vessel with Seismic Capabilities". University National Oceanographic Laboratory System. USA

## BIODATA PENULIS



Adam Wisnu Wardana dilahirkan di Malang, 6 Juli 1993. Pendidikan TK, SD, dan SMP ditempuh di Gresik sedangkan SMK ditempuh di Surabaya. Lulus dari SMKN 5 Surabaya pada tahun 2012 dan kemudian mengikuti seleksi nasional masuk perguruan negeri tinggi melalui jalur tes tulis SNMPTN dan diterima dipilihan ke 2 yakni Teknik Kelautan FTK-ITS. Selama masa kuliah penulis aktif mengikuti organisasi kemahasiswaan di jurusan. Pada tahun kepengurusan 2013/2014 penulis menjadi wakil kepala departemen kesejahteraan mahasiswa HIMATEKLA dan sekaligus menjadi Steering Committee (SC) pengkaderan 2014. Penulis tertarik dengan bidang minat hidrostruktur dari awal masuk kuliah dan juga sempat kerja praktek di kantor konsultan pada divisi marine engineering sehingga penulis mengambil tugas akhir dengan tema hidrostruktur.

e-mail: [adamwisnuwardana@gmail.com](mailto:adamwisnuwardana@gmail.com)